

Vol.5
2022

REVISTA IBEROAMERICANA

AMBIENTE & SUSTENTABILIDAD



www.ambiente-sustentabilidad.org

DOI: <https://doi.org/10.46380/rias.v5>
ISSN: 2697-3510 . e-ISSN: 2697-3529



REVISTA IBEROAMERICANA AMBIENTE & SUSTENTABILIDAD

EQUIPO EDITORIAL

Editora en jefe:

MSc. Sara Yaima Ulloa Bonilla
editora@ambiente-sustentabilidad.org

Editor asistente:

MSc. Yordanis Gerardo Puerta de Armas
arbitraje@ambiente-sustentabilidad.org

Editores de sección:

PhD. Arturo Andrés Hernández Escobar
Universidad Estatal del Sur de Manabí, Ecuador

PhD. Adrian David Trapero Quintana
Universidad de La Habana, Cuba

PhD. Reinaldo Demesio Alemán Pérez
Universidad Estatal Amazónica, Ecuador

PhD. Antonio Martínez Puché
Universidad de Alicante, España

PhD. José Antonio Díaz Duque
Universidad Tecnológica de La Habana, Cuba

PhD. Jesús Armando Martínez Gómez
Universidad Autónoma de Querétaro, México

PhD. Alfredo Domínguez González
Universidad Estatal de Mato Grosso, Brasil

PhD. Isabel María Valdivia Fernández
Universidad de La Habana, Cuba

PhD. Eury José Villalobos Ferrer
*Red de Educación, Ciencias Sociales, Ambientales,
Tecnología e Innovación, Venezuela*

PhD. Clecia Simone Gonçalves Rosa Pacheco
*Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do
Sertão Pernambucano, Brasil*

PhD. Yandy Rodríguez Cueto
Universidad Nacional Autónoma de México, México

Corrección de textos en español:

Lorena Raquel Schrott
Ezequiel Ignacio Miodownik
Observatorio de Conflictos por Recursos Naturales, Argentina

Corrección de textos en inglés:

Lic. Gail Whittaker
*Pan American Foundation for International Cooperation
for Sustainable Development, Canadá*

Corrección de textos en portugués:

Dr. Alfredo Domínguez González
Universidad Estatal de Mato Grosso, Brasil

Diseño y diagramación:

DI. Evelyn Corvea Benitez
Red Iberoamericana de Medio Ambiente, España

Los artículos publicados en la Revista Iberoamericana Ambiente & Sustentabilidad expresan exclusivamente la opinión de sus autores. Los editores no se identifican necesariamente con las opiniones recogidas en la publicación.

Las fotografías o imágenes incluidas en la presente publicación pertenecen a los autores o han sido suministradas por las compañías propietarias de los productos.

Prohibida la reproducción parcial o total de los artículos sin previa autorización y reconocimiento de su origen.



FOTO DE PORTADA

Autor: Adrián García Sánchez

Lugar: Santuario de la Mariposa
Monarca El Rosario, Michoacán, México

CONTACTO

Dirección:

Km. 1 ½, Vía Noboa, s/n. Campus Los
Ángeles, Jipijapa, Manabí, Ecuador

E-mail:

info@ambiente-sustentabilidad.org

Website:

www.ambiente-sustentabilidad.org



Esta Revista es difundida bajo la Licencia Creative Commons 4.0 de Reconocimiento – No comercial – Compartir Igual, la cual permite copiar, distribuir y comunicar públicamente la obra; siempre que se reconozca la autoría original, no se utilice con fines comerciales, ni se realicen obras derivadas.



REVISTA IBEROAMERICANA AMBIENTE & SUSTENTABILIDAD

CONSEJO CIENTÍFICO

- PhD. Luz María Contreras Velázquez
Universidad Metropolitana, Ecuador
- Dra. Ada Lucía Bonilla Vichot
Universidad de Pinar del Río, Cuba
- MSc. Luis Eugenio Rivera Cervantes
Universidad de Guadalajara, México
- Dra. Damaris Valero Rivero
Universidad de Sancti Spiritus, Cuba
- MSc. Ruth Echeverría Orellana
Asociación Española de Educación Ambiental, España
- Dr. Julio Iván González Piedra
Universidad de La Habana, Cuba
- Dr. Manuel Bollo Manent
Universidad Nacional Autónoma de México, México
- Dra. Odette Aportela González
Universidad de La Habana, Cuba
- MSc. Rafael Enrique Corrales Andino
Universidad Nacional Autónoma de Honduras, Honduras
- Dra. María de los Ángeles Pérez Hernández
Centro de Investigaciones y Servicios Ambientales ECOVIDA, Cuba
- MSc. Marco Andrés Moreno Tapia
GRD Geoconsultores S.A., Perú
- Dra. Blanca Inés Aguilar
Universidad Veracruzana, México
- MSc. Holanda Teresa Vivas Saltos
Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, Ecuador
- Dr. Raúl Rodríguez Muñoz
Universidad de Cienfuegos, Cuba
- Dra. Yanik Ixchel Maldonado Astudillo
Universidad Autónoma de Guerrero, México
- Dr. Jorge Alejandro Batres Quevedo.
Universidad Regional Amazónica, Ecuador
- Dr. Amado Batista Mainegra
Universidad de La Habana, Cuba
- Dra. Dayanara María Macías Mayorga
Universidad Laica "Eloy Alfaro" de Manabí, Ecuador
- Dr. Arturo Rúa de Cabo
Universidad de La Habana, Cuba
- Dra. Izarely Rosillo Pantoja
Universidad Autónoma de Querétaro, México
- Dra. Raquel de la Cruz Soriano
Universidad de Sancti Spiritus, Cuba
- Dra. Ana María López Gutiérrez
Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia
- Dr. Yoel Martínez Maqueira
Centro de Investigaciones y Servicios Ambientales ECOVIDA, Cuba
- Dra. María Victoria Reyes Vargas
Universidad Estatal Amazónica, Ecuador
- Dr. Rafael Bosque Suárez
Universidad de Ciencias Pedagógicas, Cuba
- Dr. Andrés Alberto Duque Nivia
Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia
- Dra. Martha Margarita Bonilla Vichot
Universidad de Pinar del Río, Cuba
- MSc. Yudisleyvis Ventura Díaz
Universidad Nacional Autónoma de México, México
- Dr. Jorge Ferro Díaz
Centro de Investigaciones y Servicios Ambientales ECOVIDA, Cuba
- Dra. Tania Merino Gómez
Ministerio de Educación Superior, Cuba
- MSc. Wagner Castro Castillo
Universidad Nacional, Costa Rica
- MSc. Yaneisis Cisneros Ricardo
Universidad de Ciencias Pedagógicas, Cuba
- Dr. Omar Chávez Alegría
Universidad Autónoma de Querétaro, México
- Dr. Seidel González Díaz
Red Iberoamericana de Medio Ambiente, Cuba
- Dr. Gilberto Javier Cabrera Trimiño
International University Network, Estados Unidos
- Dr. Ángel Guillemes Peira
Fondo Verde Internacional, España
- Dr. Heriberto Vargas Rodríguez
Universidad Agraria de La Habana, Cuba
- Dr. Rafael de Jesús Huacuz Elías
Universidad Centro Panamericano de Estudios Superiores, México
- Dr. Rogelio García Tejera
Universidad de Oriente, Cuba
- MSc. Neme Yamil Doumet Chilán
Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, Ecuador
- Dra. Amparo Osorio Abad
Universidad de Ciencias Pedagógicas, Cuba
- Dr. Juan Luis Pons Rubio
Asociación Española de Educación Ambiental, España
- Dr. José Luis Corvea Porras
Inversiones GAMMA S.A., Cuba
- Dra. Silvia Guadalupe Ramos Hernández
Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, México
- Dr. Edelbis López Dávila
Universidad de Gante, Bélgica
- MSc. Carlos Ignacio Jiménez Montoya
Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia
- Dr. Esteban Chirino Miranda.
Universidad Laica "Eloy Alfaro" de Manabí, Ecuador
- Dr. Jairo Elicio Tocancipá-Falla
Universidad del Cauca, Colombia
- Dr. Javier Jiménez Hernández
Universidad Autónoma de Guerrero, México
- MSc. Edith García Real
Universidad de Guadalajara, México
- MSc. Eugenio Landeiro Reyes
Pan American Foundation for International Cooperation for Sustainable Development, Canadá

**MSC. YORDANIS G. PUERTA DE ARMAS**

Cofundador de la Red Iberoamericana de Medio Ambiente (REIMA, A.C.) y Director Ejecutivo de la Fundación Panamericana de Cooperación Internacional para el Desarrollo Sustentable (PAFICSD)

EDITORIAL

Concluida la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (COP27), que tuvo lugar en noviembre de 2022 en Sharm el Sheij (Egipto), millones de personas alimentan la esperanza de que ha llegado el momento del cambio en torno a la política internacional en materia de ambiente y desarrollo desde el paradigma de la sustentabilidad. Mientras por otra parte son mayoría los que comparten el criterio que desde que en 1972 tuvo lugar la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Humano en Estocolmo (Suecia) cada foro global solo ha servido para poner de manifiesto la indiferencia de una inmensa mayoría con la realidad que se vive en nuestra casa común: el planeta Tierra.

En estos 50 años se ha escuchado una y otra vez que «líderes» mundiales se reúnen para discutir sobre los principales desafíos ambientales globales, relacionados con la pérdida de la diversidad biológica, la degradación de las tierras, la contaminación ambiental, el calentamiento global, el incremento de la frecuencia e intensidad de los fenómenos naturales extremos y un larguísimo etcétera que solo sirve de pretexto para financiar esos foros, en los que la inmensa mayoría de los que hablan jamás han sufrido en carne propia la problemática a la que se refieren. En cam-

REVISTA IBEROAMERICANA AMBIENTE & SUSTENTABILIDAD

bio, asisten a los debates para defender agendas e intereses personales desde un supuesto discurso ecologista que les permita siguiendo la espalda a las causas verdaderas de la problemática: distribución inequitativa de los recursos, patrones de producción y consumo insostenibles, falta de voluntad y compromiso político, falta de cultura ambiental... que condenan a millones y millones de seres humanos al hambre extrema y la pobreza.

Reiterar que el reto hoy es asumir el ambiente desde la teoría de la complejidad y desde la teoría de los sistemas; desde un enfoque holístico que permita entenderlo como un complejo sistema de interacción entre la naturaleza y la sociedad, en el que intervienen elementos bióticos, abióticos, económicos, psicosociales, culturales, políticos, institucionales y tecnológicos, que determinan su estructura, funcionamiento y estabilidad; solo así será posible transitar hacia un modelo de desarrollo desde el paradigma de la sustentabilidad. Entendido el desarrollo sustentable como un proceso endógeno de identificación, reconocimiento, utilización y potenciación de los recursos locales; que garantiza el equilibrio de los sistemas ambientales e implica la utilización racional de los recursos naturales, financieros, materiales, tecnológicos y humanos. Asimismo, garantiza

las condiciones de vida de todas las especies y la estabilidad de los ecosistemas que sustentan la vida en el planeta como garantía para las actuales y futuras generaciones.

No hay mucho más tiempo para lograr una convivencia armónica con el resto de los individuos de nuestra propia especie. Ya se ha superado la cifra de ocho mil millones de seres humanos en un planeta que para no pocos ya no tiene mucho más que ofrecer, por lo que no escatiman los recursos que podrían destinar a combatir el hambre y la pobreza en uno y otro intento por llegar a la Luna o a otro planeta que puedan colonizar y destruir como ha sucedido con la Tierra. Mientras, todavía hay quienes creen que esta es una crisis civilizatoria que podría superarse si se toma consciencia de que mirar al futuro requiere cuando menos alguna reflexión sobre el pasado y una buena comprensión del presente; porque lo que se haga hoy por este mundo, será el futuro mañana de nuestros hijos.

TABLA DE CONTENIDO

MANEJO SUSTENTABLE DE TIERRAS Y SEGURIDAD ALIMENTARIA

El análisis multivariante para un desarrollo rural sostenible del cantón Guamote, Ecuador

Luis Angel Chuquimarca Coro

e165

Biofiltración de aguas residuales de industrias arroceras de San Jacinto de Yaguachi, Ecuador mediante cascarilla de arroz

Xavier Andrés Iturralde Jácome, Arturo Andrés Hernández Escobar

e271

Sostenibilidad en sistemas de producción ovina del municipio de Ixmiquilpan, estado Hidalgo, México

Juan Manuel Vargas Romero, Ulises Graciano Soto Ortiz, Hermenegildo Román

Losada Custardoy, José Cortés Zorrilla, Jorge Eduardo Vieyra Durán, Viridiana

Alemán López, Lorena Luna Rodríguez

e241

GESTIÓN DE RIESGOS AMBIENTALES Y CAMBIO CLIMÁTICO

Posibilidades de desarrollo de la infraestructura vial en el archipiélago Sabana-Camagüey

Juan Pablo Cabrera Díaz, Dunia Cabrera Díaz

e233

Análisis de la sostenibilidad universitaria basada en el enfoque integral institucional

Yira Araúz Santamaría de Monteza

e247

Contribución de las emisiones de gas metano producidas por el ganado bovino al cambio climático

Katherine Paola Tigmasa Paredes

e215

Captura de carbono del arbolado de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Ecuador

Ricardo Javier Castillo Ruperti, Vicente Enrique Bello Pinargote, Yulio Santiago Loor

Barrezueta, Carlos César Ayón Hidalgo

e262

Actividad minera en humedales altoandinos del Ecuador y la emisión de dióxido de carbono

Diana Astudillo Aguilar

e216

Nivel de contaminación microbiana del aire en un taller agroindustrial y sus posibles riesgos laborales

Holanda Teresa Vivas Saltos, Sulay Katherine Marcillo García, Diana Margarita Zambrano

Zambrano, María Fernanda Pincay Cantos, José Manuel Calderón Pincay

e253

GESTIÓN SUSTENTABLE DE RECURSOS HÍDRICOS

Diatomeas epilíticas asociadas a la calidad de agua del río Illuchi, Latacunga, Ecuador

Manuel Patricio Clavijo Cevallos, Diana Carolina Gallegos, Cinthia Vilela Muñoz

e158

La hidroelectricidad y cambio climático en torno a la implementación de la Primera Contribución Nacional Determinada en Ecuador

Sebastian Naranjo-Silva, Omar Rolando Quimbita-Chiluisan

e268

GESTIÓN AMBIENTAL EN ASENTAMIENTOS HUMANOS

Hacia la sustentabilidad ambiental en zonas habitacionales. El caso de San Andrés Cholula, Puebla, México

Zoraida Helena Orea Ovalle, María de Lourdes Flores Lucero, María Lourdes Guevara Romero

e224

EDUCACIÓN, CULTURA Y COMUNICACIÓN AMBIENTAL

Niños y plantas: servicios ecosistémicos de la vegetación percibidos en escuelas públicas urbanas en una ciudad andina

María Elisa Durán-López, Juana María Cabrera-Quito, Mónica Alexandra Narváez-Vera

e240

Experiencia pedagógica virtual de educación ambiental: Reto del ecoladrillo

Leticia Ramírez Rubio

e270

Estudio de conocimientos tradicionales sobre biodiversidad e indicadores climáticos de comunidades mapuches en Chile

Jorge Retamal Rubio, Juan Felipe Silva Armas

e245

TURISMO SUSTENTABLE

Participación de la mujer en el ámbito laboral turístico y académico en la Amazonía Ecuatoriana

María Victoria Reyes Vargas, Ángel Fernando Ortega Ocaña, Lady Diana Vera Solórzano

e179

GESTIÓN SUSTENTABLE DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS

Caracterización de los residuos sólidos urbanos y desperdicios de alimentos del Distrito Metropolitano de Quito

Xavier Oña-Serrano, Oswaldo Viteri-Salazar, Juan José Cadillo Benalcázar, Xavier Buenaño Guerra

e230



El análisis multivariante para un desarrollo rural sostenible del cantón Guamote, Ecuador

Multivariate analysis for sustainable rural development in the canton of Guamote, Ecuador

Análise multivariada para o desenvolvimento rural sustentável no cantão de Guamote, Equador

Luis Angel Chuquimarca Coro / Universidad Centro Panamericano de Estudios Superiores /
lchuquimarca@gmail.com

Recibido: 29/5/2021

Aceptado: 16/2/2022

Publicado: 20/3/2022

RESUMEN

En el contexto de las metas del desarrollo sostenible se efectuó el presente estudio que tuvo como objetivo describir el perfil social, económico-productivo, ambiental y político-institucional de los territorios parroquiales del cantón Guamote, desde el enfoque de sostenibilidad. Para ello, en base al muestreo aleatorio simple, se realizó la selección de casos y se aplicó el formulario de encuesta. El análisis de datos, apoyados en técnicas estadísticas como el análisis de correspondencia y el análisis de componentes principales, evidenció la situación precaria de las familias; la degradación del ambiente; la presión de las actividades agrícolas de carácter convencional sobre los ecosistemas rurales; y la debilidad organizativa en cuanto a gobernabilidad democrática en las tres parroquias. Fueron identificadas las principales fortalezas y debilidades en las cuatro dimensiones analizadas siendo que cada parroquia, según el perfil, tiene su vocación productiva propia. Se concluye que existe la necesidad de reorientar las tendencias socioeconómicas, ambientales y político-institucionales en la senda de la sostenibilidad.

Palabras clave: ambiente, gobernabilidad, sistemas de producción, sostenibilidad, territorios

ABSTRACT

In the context of the goals of sustainable development, this study was carried out with the objective of describing the social, economic-productive, environmental and political-institutional profile of the parish territories of the Guamote canton, from the sustainability approach. For this, based on simple random sampling, the selection of cases was carried out, and the survey form was applied. Data analysis, supported by statistical techniques such as correspondence analysis and principal component analysis, evidenced the precarious situation of families; environmental degradation; the pressure of conventional agricultural activities on rural ecosystems; and the organizational weakness in terms of democratic governance in the three parishes. The main strengths and weaknesses were identified in the four dimensions analyzed, being that each parish, according to the profile, has its own productive vocation. It is concluded that there is a need to reorient socioeconomic, environmental and political-institutional trends in the path of sustainability.

Keywords: environment, governability, production systems, sustainability, territories

RESUMO

No contexto das metas de desenvolvimento sustentável, este estudo foi realizado com o objetivo de descrever o perfil social, econômico-produtivo, ambiental e político-institucional dos territórios paroquiais do cantão de Guamote, a partir da abordagem da sustentabilidade. Para isso, com base em amostragem aleatória simples, foi realizada a seleção dos casos e aplicado o formulário de pesquisa. A análise dos dados, apoiada em técnicas estatísticas como análise de correspondência e análise de componentes principais, evidenciou a situação precária das famílias; degradação ambiental; a pressão das atividades agrícolas convencionais sobre os ecossistemas rurais; e a fragilidade organizativa em matéria de governação democrática nas três freguesias. Os principais pontos fortes e fracos foram identificados nas quatro dimensões analisadas, sendo que cada paróquia, de acordo com o perfil, tem sua própria vocação produtiva. Conclui-se que há necessidade de reorientar as tendências socioeconômicas, ambientais e político-institucionais no caminho da sustentabilidade.

Palavras chave: ambiente, governança, sistemas de produção, sustentabilidade, territórios

INTRODUCCIÓN

El desarrollo sostenible a nivel global es amenazado por el fenómeno del cambio climático; la variabilidad del clima ha causado impactos económicos a escala mundial (Vega *et al.*, 2020). Para el sector rural, esta situación constituye uno de los retos fundamentales en la adopción de medidas de

adaptación tales como: aumento del nivel de conocimiento sobre el cambio climático, cambio de manejo de ecosistemas, reordenamiento territorial, entre otros (López y Hernández, 2016).

Hoy, frente a las metas de los *Objetivos de Desarrollo Sostenible* vigentes, el desarro-

llo rural y la medición del mismo para fines analíticos y de diseño de política, ofrece un amplio campo de investigaciones; ya que los ecosistemas rurales, así como su población, constituyen factores fundamentales en el logro de dichas metas (Dirven, 2019; Dirven y Candia, 2020). La presente investigación intenta dar respuesta en estas necesidades a nivel local, toda vez que el sector rural entendido evidencia su importancia tanto en sus poblaciones, así como en sus activos económicos y naturales (Saravia-Matus y Aguirre, 2019).

Los territorios parroquiales de Guamote se encuentran poblados por productores agrícolas a pequeña escala, quienes proveen de alimentos al mercado interno; sin embargo, son relegados a un segundo plano por las políticas públicas del país, al igual que en el resto de los países en vías de desarrollo. Por tanto, la marginación ha producido situaciones de pobreza y afectación de los ecosistemas rurales (Montosa, 2014; Pérez y Hernández, 2015; Sepúlveda, 2008). Guamote es considerado como el territorio con mayor incidencia de pobreza, precariedad en diferentes campos de desarrollo rural y degradación del ambiente; eso indica incertidumbre en cuanto al futuro rural (Altamirano y Beltrán, 2016; Banco Central del Ecuador, 2019; Calderón, 2019).

Cabe destacar que el presente trabajo forma parte de los resultados del proyecto de investigación *Análisis de la dinámica de desarrollo rural en el cantón Guamote, Ecuador: Una aproximación desde el enfoque de sostenibilidad*. En este contexto se planteó como pregunta de investigación ¿cuál es la

situación actual de los territorios parroquiales en cuanto a las variables e indicadores desde el enfoque de sostenibilidad? Ante la necesidad puntual de conocer temas fundamentales de la realidad local con limitaciones importantes de información, se formuló como objetivo: caracterizar el perfil territorial de los ecosistemas rurales y la situación de las familias que habitan en las tres parroquias del cantón Guamote, diferenciado en cuatro dimensiones que pregona la teoría de desarrollo rural sostenible: social, económico-productiva, ambiental y político-institucional (Sepúlveda, 2008).

En consecuencia, se reafirma la necesidad de promover el conocimiento de actores territoriales parroquiales desde el enfoque de sostenibilidad y el empoderamiento de estos; ya que esto permitirá la reorientación de las tendencias en el marco de los cuatro componentes analizados y en función de las metas de los *Objetivos de Desarrollo Sustentable*.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó entre los años 2020 y 2021 en las parroquias Cebadas, Guamote y Palmira, pertenecientes al cantón Guamote, provincia Chimborazo. En las tres parroquias residen 58 291 habitantes y existen alrededor de 13 272 fincas agropecuarias familiares, de acuerdo con la proyección del Instituto Nacional de Estadística y Censos para el año 2020.

Metodológicamente se asumió el enfoque mixto, descriptivo, correlacional y de carácter no experimental. En este contexto se buscó estimar la sostenibilidad de cada

territorio, fijando 22 indicadores representativos; para la dimensión social (nivel de satisfacción con la vida, nivel de escolaridad, desnutrición crónica de niños menores de 5 años, pobreza por necesidades básicas insatisfechas, migración de la población), para la económico-productiva (sistemas de producción agropecuaria, uso del suelo, diversificación de la producción, integración a organizaciones de apoyo a cadenas agroalimentarias, nivel de transferencia de conocimientos, mercado agropecuario), para la ambiental (calidad de ecosistemas, formas de eliminación de residuos sólidos, formas de eliminación de residuos líquidos y excretas, y la afectación de la fertilidad de los suelos), y en la dimensión político-institucional (disponibilidad presupuestaria del gobierno local, capacidad de convocatoria de la autoridad, incidencia social en políticas públicas, y participación de la ciudadanía en las organizaciones políticas).

Las variables e indicadores fueron definidos sobre la base del trabajo de la Comisión de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas, en el marco ordenador de indicadores de desarrollo sostenible para los países de América Latina y el Caribe en el nivel nacional y regional, con adaptabilidad a nivel local (Quiroga, 2007; Márquez *et al.*, 2019).

La aplicación del cuestionario se realizó utilizando el muestreo aleatorio simple, con 1070 casos válidos, constituidos por representantes de hogares y de las unidades de producción agropecuaria, con un nivel de confianza del 95%. El análisis de

datos se basó en las técnicas estadísticas como el análisis de correspondencia y el análisis de componentes principales para datos mixtos, utilizando el software estadístico *R-studio*. Además, se realizaron entrevistas en profundidad a algunos actores clave para conocer ciertas particularidades de los procesos territoriales. Asimismo, se empleó la observación participante en actividades agropecuarias de las fincas. Se consideró como limitación de partida, la poca información respecto a la realidad de las parroquias objeto del presente estudio.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las parroquias del cantón Guamote se encuentran ubicadas en la región Sierra Centro. Según el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Guamote, 2019), tienen una altitud entre 2560 y 4640 m.s.n.m., su extensión territorial es de 1223.3 km² y presentan pendientes o inclinaciones del terreno con respecto a la línea horizontal entre 5 y 150%. En este sentido, el análisis de la información recopilada mostró los diferentes valores, representados en las variables e indicadores de las cuatro dimensiones de desarrollo rural sostenible, para cada unidad territorial.

Análisis exploratorio de datos

A continuación, en la *tabla 1*, se presentan los indicadores sociales para las tres parroquias. Además, se añadieron indicadores de nivel nacional para efectos de comparación de acuerdo con la disponibilidad de la información agregada.

Tabla 1. Principales indicadores sociales de las parroquias del cantón Guamote (2021)

VARIABLES/INDICADORES	Cebadas	Guamote	Palmira	CANTONAL	NACIONAL
Años promedio de escolaridad	6	6	5	6	10*
Tasa de analfabetismo	13	7	13	10	6*
Tasa de desnutrición crónica, en niños menores de 5 años				45	27*
Pobreza por Necesidades Básicas Insatisfechas (porcentajes)	87**	83**	88**	85**	34**
Tasa de hogares que tienen algún familiar que ha migrado, dentro del país	27	24	29	27	
Tasa de hogares que tienen algún familiar que ha migrado al exterior	3	6	5	5	
Nivel de satisfacción con la vida. Tasa de satisfecho con la vida	83	79	74	79	

Nota: * año 2018; ** año 2019

Fuente: Elaboración propia a partir de la información del Instituto Nacional de Estadísticas y Censo (2021).

En la dimensión social, las parroquias de Guamote mostraron cifras similares, con una mínima diferencia en cuanto a: años promedio de escolaridad, pobreza por *necesidades básicas insatisfechas*, tasa de hogares que tienen algún familiar que ha migrado y el nivel de satisfacción con la vida. Sin embargo, la comparación con el nivel nacional arrojó brechas significativas. Por ejemplo, existe una diferencia de 4 años en relación al nivel de escolaridad, la incidencia de pobreza por *necesidades básicas insatisfechas* es superior en 51 % y la tasa de desnutrición crónica en niños menores de cinco años es superior en 18 % en comparación con la media nacional. Por otro lado, la tasa de analfabetismo de la parroquia Guamote es inferior a las de otras dos parroquias y similar con respecto al nivel nacional. En cuanto al nivel de satisfacción con la vida se destacó que 8 de cada

10 personas encuestadas respondieron que se encuentran *satisfechas*.

Las brechas sociales han sido tendencia en muchos países de América Latina, incluido Ecuador, a pesar de la intervención con políticas públicas en los respectivos territorios (Berdegué *et al.*, 2020). Por tanto, la situación es bastante preocupante, dada su importancia para una vida digna; así por ejemplo, la educación ha sido considerada por muchos estudiosos como el pilar fundamental de desarrollo personal y social en una sociedad (Becker, 1964; Schultz, 1960); la desnutrición crónica, implica serias dificultades en la salud, desarrollo, aprendizaje y más tarde en el acceso a oportunidades (Arostegui, 2017); la emigración del campo a la ciudad en el caso local, que se da debido a la vulnerabilidad climática crítica, así como, por la consecuente desatención de los go-

bernantes al sector rural (Moreno, 2020) genera costos sociales como la desintegración de las familias, ausencia de la mano de obra joven en el campo y el proceso de aculturación a largo plazo.

La satisfacción con la vida (apreciación subjetiva y relativa de la persona respecto al estado de ánimo o de felicidad) en estas parroquias ratifica las conclusiones a que han

llegado diversos investigadores en el sentido de que el estado de ánimo no depende necesariamente de la posesión de bienes materiales (de los Ríos, 2016).

En la *tabla 2* se presentan los indicadores económico-productivos de manera diferenciada para cada territorio parroquial; así como también los valores resumidos para todo el cantón.

Tabla 2. Principales indicadores económico-productivos para las parroquias del cantón Guamote

Variables/Indicadores	Cebadas		Guamote		Palmira		Cantonal	
	Cantidad	%	Cantidad	%	Cantidad	%	Cantidad	%
Fincas familiares con sistemas de producción convencional	339	92	336	90	323	98	998	93
Superficie promedio cultivos transitorios por finca (ha)	0.40		0.68		1.44		0.82	
Superficie total cultivos transitorios (ha)	147.64	21	253.2	40	474.04	57	874.88	41
Superficie promedio pastos cultivados por finca (ha)	1.04		0.58		0.48		0.71	
Superficie total pastos cultivados (ha)	383.58	55	216.61	34	159.54	19	759.73	35
Superficie promedio páramos por finca (ha)	0.35		0.34		0.26		0.32	
Superficie total páramos (ha)	129.82	19	126.95	20	87.84	11	344.61	16
Superficie promedio otros por finca (ha)	0.1		0.09		0.32		0.16	
Superficie total otros (ha)	37.52	5	34.11	5	104.8	13	176.43	8
Número de especies de cultivos por finca	2		3		3		3	
Número de especies de crianza por finca	4		4		4		4	
Integración de fincas a organizaciones de apoyo a cadenas agroalimentarias	18	5	53	14	25	8	96	9
Transferencia de conocimientos por finca	85	23	71	19	61	19	217	20
Acceso al mercado agropecuario local por finca	289	81	360	97	327	99	976	92

Fuente: Elaboración propia.

En el ámbito económico-productivo, Palmira es la parroquia que ha profundizado la implementación del sistema de producción convencional con respecto a las otras dos, caracterizado por el uso de maquinaria agrícola e insumos agroquímicos. En contraposición, los sistemas alternativos como el agroecológico y el tradicional han sido desarrollados de manera marginal, evidenciado en 1 de cada 10 fincas en las parroquias Cebadas y Guamote. Esta dinámica en el campo promovió la contaminación ambiental y la degradación de los ecosistemas rurales (Chalán, 2019). Asimismo, refleja la implementación de políticas públicas desarrollistas de las últimas dos décadas con diferentes denominaciones en el contexto local, tales como desarrollo rural integral; políticas de exportación y negocios inclusivos; encadenamientos productivos y agricultura de contrato; políticas de impulso a la agroindustria y agricultura de exportación; todas ellas tienen en común ventajas y beneficios para los sectores poderosos, mientras se precariza la situación de los pequeños productores que producen para el mercado interno (Madrid, 2019).

En las fincas familiares de las parroquias se evidenció la alta democratización de la propiedad rural constituidas en pequeñas propiedades y minifundios, las que en promedio de mayor a menor se ubican: Palmira con 2.50 ha; Cebadas con 1.89 ha y Guamote con 1.69 ha. Asimismo, se destacan diferencias en el uso alternativo del suelo entre las parroquias; por ejemplo, Cebadas mostró una alta presencia de cultivo de pasto con el 55 % seguido de cultivos transitorios

con el 21%; Guamote con el 40% de superficie dedicada a cultivos transitorios y el 34 % de cultivo de pasto; mientras que en Palmira se dedican a cultivos transitorios el 57% de los suelos agrícolas y al cultivo de pastos el 19%. Por tanto, se concluye que Cebadas cuenta con mayor recurso agua para la agricultura, lo cual hace que este territorio cuente con mayor ventaja natural para su desarrollo. Otro tema de importancia en el uso del suelo en las fincas constituye las áreas de páramos. En este sentido, Guamote y Cebadas conservan alrededor del 20 % de superficie en cada caso, mientras Palmira el 10%. En la diversificación de la producción, se apreció la existencia de dos subsistemas; por un lado el subsistema de cultivos con 3 diferentes especies, mientras que en el de crianza 4 especies por finca.

En la integración a alguna organización de apoyo a la conformación de cadenas agroalimentarias, en las tres parroquias las cifras han sido muy bajas, con cierta ventaja para la parroquia Guamote. Sin embargo, cabe destacar que este tema en el contexto local y nacional ha tenido experiencias positivas en cuanto a la organización de las cadenas, al integrar los procesos de producción, transformación y comercialización de ciertos productos agrícolas, como la quinua orgánica, lácteos, brócoli y cacao orgánico; la presencia de los agentes externos en estos casos, facilita el apoyo técnico en la producción y la vinculación de los pequeños productores a través de la asociatividad, con empresas y mercados dinámicos en base a acuerdos en condiciones equitativas entre las partes (Meza *et al.*, 2017).

En la transferencia de conocimientos, en promedio 2 de cada 10 personas en cada parroquia han recibido capacitación en los últimos 5 años. En las alternativas de comercialización de los productos agropecuarios, la dependencia del mercado local se caracterizó como muy alta, ubicándose de mayor a menor en cuanto a dependencia: Palmira, Guamote y Cebadas; en ésta última 2 de cada 10 personas en promedio, respondieron que tienen acceso a otros mercados fuera del mercado interno. La dependencia local ha permitido que los intermediarios

puedan tener mayor poder de negociación en la comercialización de productos agropecuarios, debido al conocimiento del tema. En este sentido, los productores no asociados son explotados en la comercialización de sus productos (López, 2020).

En el siguiente componente de este análisis se encuentra la dimensión ambiental de las parroquias; la *tabla 3* muestra algunos indicadores que dan cuenta de la situación actual de los ecosistemas rurales del cantón Guamote.

Tabla 3. Principales indicadores ambientales para las parroquias del cantón Guamote

Variables/Indicadores	Cebadas		Guamote		Palmira		Cantonal	
	Cantidad	%	Cantidad	%	Cantidad	%	Cantidad	%
Superficie intervenida promedio por finca (ha)	1.53		1.32		2.18		1.66	
Superficie intervenida total por parroquia (ha)	562.99	80	491.58	75	718.3	90	1772.87	82
Superficie natural promedio por finca (ha)	0.37		0.43		0.24		0.35	
Superficie natural total por parroquia (ha)	137.58	20	159.8	25	78.81	10	376.19	18
Viviendas con acceso al servicio de alcantarillado sanitario	83	22	55	15	0		138	13
Viviendas con acceso a recolección de basura	118	32	190	51	80	24	388	36
Viviendas con eliminación de basura por quema	226	61	177	48	238	72	641	60
Percepción del productor. Afectación alta de fertilidad de suelos	274	76	295	80	286	87	855	81

Fuente: Elaboración propia.

Según muestra la tabla anterior, la parroquia Guamote es la de menor porcentaje de superficie intervenida en las fincas familiares, con un 75%. En el otro extremo se ubica Pal-

mira con el 90%. En consecuencia, la superficie natural para el caso de esta última apenas llega al 10%. Esta situación se explica en parte por la presión de la población sobre

los ecosistemas rurales a través de diversas acciones; ya que según Calderón (2019) en los últimos 10 años se produjo una reducción de la superficie natural (básicamente páramos), en alrededor de 18 000 hectáreas con el 32% de variación de la misma, lo cual trae como consecuencia la reducción de los bienes y servicios ambientales, entre ellos la provisión de agua, tanto para el consumo, como para la producción agropecuaria.

Entre los servicios básicos que son de responsabilidad del gobierno local se encuentra el acceso de viviendas al servicio de alcantarillado. En este contexto, Cebadas mostró el valor más alto entre las tres parroquias, ya que 22 de cada 100 personas respondieron contar con el servicio para los residuos líquidos y excretas, como elemento fundamental de la higiene de las familias. Sin embargo, Palmira es la más desatendida por el gobierno local con el 0%. El servicio de eliminación de residuos sólidos por carro recolector sitúa a las parroquias en el siguiente orden: Guamote, Cebadas y Palmira. Nuevamente Palmira aparece

como el territorio de menor importancia para la autoridad local; obviamente, la falta de este servicio en las viviendas implica la eliminación de los residuos al ambiente, generando la contaminación del mismo.

En el nivel de afectación de la fertilidad de los suelos, Palmira evidenció una situación preocupante, ya que 90% de personas respondieron que los suelos en sus fincas han sido afectados en un nivel *alto*; de otra parte, Cebadas presentó un valor relativamente inferior a las otras dos. Esta situación en la localidad es atribuida a las prácticas agrícolas inadecuadas como la mecanización, la aplicación descontrolada de agroquímicos, entre las principales. En este sentido, entre algunos efectos de este problema se destacan, la pérdida de capacidad productiva de la tierra y la pérdida de la agrobiodiversidad.

A continuación, se presentan los indicadores del componente político-institucional, conteniendo información cualitativa en el tema de gobernabilidad democrática de las parroquias en el cantón Guamote (*tabla 4*).

Tabla 4. Principales indicadores político-institucionales para las parroquias del cantón Guamote

Variables/Indicadores	Cebadas		Guamote		Palmira		Cantonal	
	Cantidad	%	Cantidad	%	Cantidad	%	Cantidad	%
Poca capacidad de convocatoria del gobierno local	175	47	123	33	153	47	451	42
Ninguna capacidad de convocatoria del gobierno local	185	50	248	67	171	52	604	57
Poca incidencia ciudadana en políticas públicas a nivel local	118	32	123	33	149	45	390	36
Ninguna incidencia ciudadana en políticas públicas a nivel local	228	62	247	66	173	53	648	61

Poca incidencia ciudadana en políticas públicas a nivel provincial	76	21	76	20	126	38	278	26
Ninguna incidencia ciudadana en políticas públicas a nivel provincial	285	77	287	77	180	55	752	70
Poca incidencia ciudadana en políticas públicas a nivel del gobierno central	54	15	50	13	78	24	182	17
Ninguna incidencia ciudadana en políticas públicas a nivel del gobierno central	312	85	318	85	219	67	849	79
Participación de la sociedad civil en organizaciones políticas	202	55	175	47	176	53	553	52

Fuente: Elaboración propia.

En la dimensión político-institucional, la información recabada mostró que la disponibilidad presupuestaria del gobierno local en los últimos años se ha venido reduciendo de 153 USD per cápita en el año 2018, a 119 USD en 2020. Este último dato, comparado con las cifras de municipios metropolitanos como Quito y Guayaquil para el año 2020, es de 290 USD y 306 USD per cápita, respectivamente (Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, 2020; Municipalidad de Guayaquil, 2020). Esta situación puso en evidencia la desigual distribución de los recursos fiscales entre los territorios, así como la concentración de obras de infraestructura en ciertas ciudades que representan a las élites políticas y económicas lo que se conoce como asimetrías territoriales (Loor *et al.*, 2019).

Dentro del tema de gobernabilidad y gobernanza, se consideró la capacidad de convocatoria como uno de los paráme-

tros del buen gobierno que se encuentra en manos del municipio local, una de las instituciones públicas más cercanas a la ciudadanía. En promedio, 6 de cada 10 personas en las tres parroquias respondieron que la autoridad local carece de esta facultad; lo que muestra pérdida de credibilidad ante sus conciudadanos. En el siguiente parámetro del buen gobierno se evidenció que la inexistencia de la incidencia ciudadana en la construcción de políticas públicas (en procesos de gestión de las instituciones públicas de los niveles, local, provincial y nacional), fueron superiores al 50% en cada caso. Además, se evidenció que cada nivel superior obtuvo una estimación negativa mayor que el nivel anterior. En cuanto a la participación de la sociedad civil en las organizaciones políticas, 1 de cada 2 personas en promedio en cada parroquia manifestó la existencia de dicha participación.

La participación ciudadana en la gestión pública es importante en los sistemas democráticos, ya que fortalece las relaciones entre las autoridades y la ciudadanía. Este proceso legitima y empodera las decisiones que se tomen en el ámbito público sobre el destino de un territorio, en función de sus necesidades, mediante la implementación de políticas públicas de manera legítima y eficaz (Montecinos y Contreras, 2019). En consecuencia, las poblaciones parroquiales analizadas carecen de condiciones básicas de un buen gobierno que deben promover las autoridades político-administrativas de los distintos niveles territoriales.

Análisis multivariante de la información

El objetivo del *análisis de componentes principales* radica en la obtención de vectores ortogonales (lineales), que explican de manera más eficiente la varianza de las

observaciones, ante la presencia de correlación en el análisis de muchas variables.

El *análisis de componentes principales* realiza una transformación ortogonal (lineal), determinando los vectores propios que son las componentes, y valores propios representados en las varianzas de cada componente. En este sentido, ante la presencia de variables cuantitativas y cualitativas en las observaciones del presente estudio, el análisis se basó en la aplicación de la técnica de *análisis de componentes principales* para datos mixtos (PCA mixdata), la que combina el *análisis de componentes principales* estándar con el *análisis de correspondencia múltiple* (Chavent et al., 2017).

A continuación, en la *tabla 5*, se presenta la matriz de componentes principales para datos cualitativos y cuantitativos que arroja el software estadístico *R-studio*.

Tabla 5. *Matriz de componentes principales para datos mixtos*

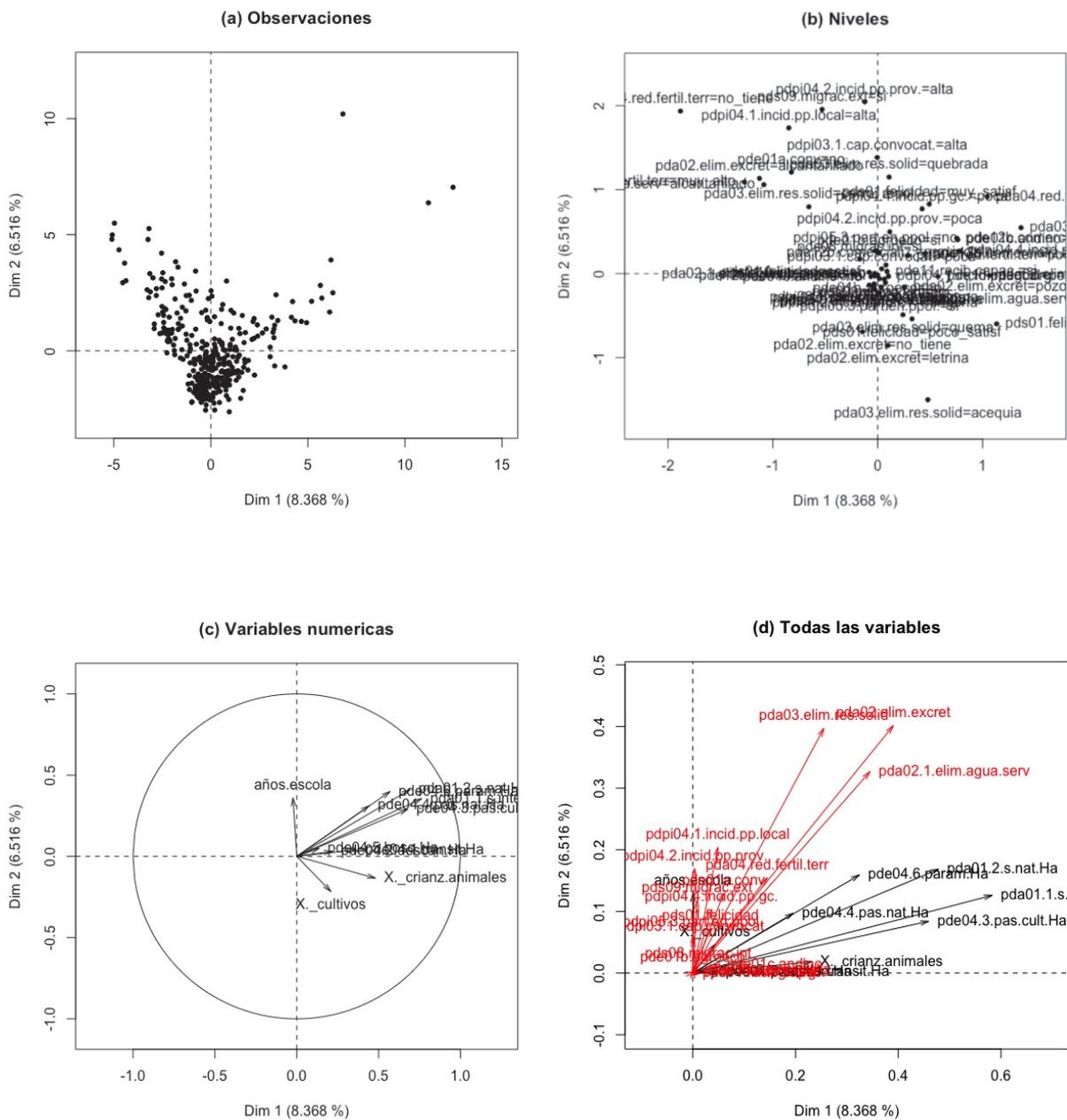
Dimensions	Eigenvalue	Proportion	Cumulative
dim 1	2.68072838	20.6209875	20.62099
dim 2	1.89666367	14.5897205	35.21071
dim 3	1.30859014	10.0660780	45.27679
dim 4	1.07183510	8.2448854	53.52167
dim 5	1.00868605	7.7591235	61.28079
dim 6	0.92439084	7.1106988	68.39149
dim 7	0.89110556	6.8546582	75.24615
dim 8	0.85131632	6.5485871	81.79474
dim 9	0.71848169	5.5267823	87.32152
dim 10	0.63638976	4.8953058	92.21683
dim 11	0.54681330	4.2062562	96.42308
dim 12	0.41973118	3.2287014	99.65178
dim 13	0.04526801	0.3482155	100.00000

Fuente: Elaboración propia.

Según la tabla que antecede, los resultados muestran que las primeras seis componentes explican el mayor porcentaje de la variabilidad de los datos. La primera componente explica el 20.62%, la segunda el 14.58%, hasta la sexta componente con el 7.11%. Por tanto, se pueden tomar en cuenta estos componentes para analizar la información.

La figura 1, muestra las salidas gráficas del análisis de componentes principales de las dimensiones de desarrollo rural sostenible, las que facilita el análisis y comparabilidad de las variables tanto cualitativas como cuantitativas para la parroquia Cebadas.

Figura 1. Salidas gráficas del análisis, parroquia Cebadas (2021)



Fuente: Elaboración propia.

La información contenida en los gráficos evidencia las diferentes relaciones entre las variables e indicadores analizados en cada unidad territorial. Así, por ejemplo, en la *figura 1* el *gráfico (a)* muestra que los hogares y las unidades de producción para el caso Cebadas, se encuentran concentrados a lo largo de los dos ejes, representando patrones similares de los individuos, que en nuestro caso corresponde a las condiciones de vida más o menos uniformes a la que están expuestos.

En el *gráfico (b)* se puede comprobar que a lo largo de la segunda componente varía la información de niveles. Donde las variables ambientales con indicadores bajos se encuentran en la parte inferior, asociado a la poca satisfacción con la vida. A medida que se desplaza por el eje vertical, se puede observar variables como la satisfacción alta con la vida relacionada con las variables ambientales como la eliminación de residuos (líquidos y excretas) por alcantarillado y la recolección de la basura por carro recolector. Asimismo, se vinculan las variables político-institucionales con estimación alta como la incidencia ciudadana en políticas públicas y la capacidad de convocatoria.

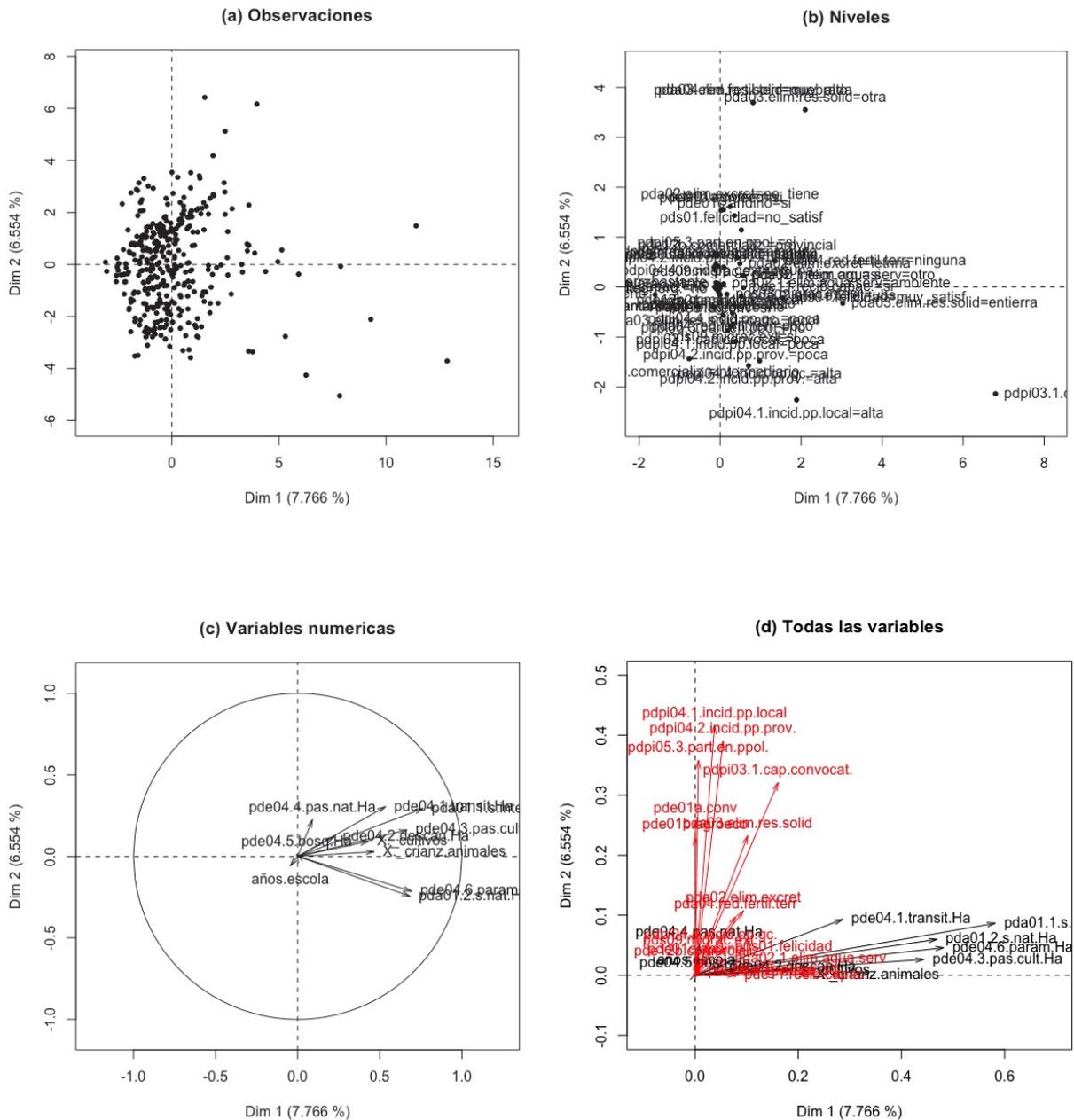
El *gráfico (c)* muestra que la mayoría de

las variables numéricas se relacionan con la primera componente, excepto la escolaridad. En este sentido, la superficie intervenida con pastos cultivados, pastos naturales y cultivos transitorios, están correlacionadas positivamente; otra formación de clúster se dio entre las variables, superficie natural y superficie de páramos. En cambio, la diversificación de cultivos y de crianza de animales con años de escolaridad, tienen una correlación negativa.

En el *gráfico (d)* se puede observar que las variables numéricas tienden a vincularse a la primera dimensión, excepto la escolaridad que tiene correlación lineal con las variables categóricas; es decir que existe una relación lineal entre variables económico-productivas y ambientales. Por otro lado, las variables categóricas identificadas de color rojo tienden a vincularse a la segunda componente del gráfico, representando una relación lineal entre las características sociales, ambientales y político-institucionales.

A continuación, la información de la *figura 2* muestra las salidas gráficas de las variables cualitativas y cuantitativas en las cuatro dimensiones, para la parroquia Guamote.

Figura 2. Salidas gráficas del análisis, parroquia Guamote (2021)



Fuente: Elaboración propia.

En la figura que precede, según el gráfico (a) las observaciones para el caso de la parroquia Guamote, son bastante homogéneas, concentrados a lo largo del eje vertical, con cierta dispersión sobre el mismo. La ubicación de los individuos en el mapa corresponde a las condiciones similares de

segmentos de la población con alguna variación dentro de las dimensiones de desarrollo rural que fueron analizadas.

En el gráfico (b), la información se ubica a lo largo del eje vertical, donde se observa que en la parte inferior están las variables cualitativas con percepciones muy posi-

vas en la dimensión político institucional; a medida que se desplaza hacia arriba, las percepciones van bajando hasta que en la parte superior están las variables que reciben calificaciones bajas o que las condiciones sociales, ambientales y políticas son preocupantes (tales como eliminación de residuos sólidos, eliminación de excretas, el nivel de satisfacción con la vida, entre otros). Sin embargo, las categorías que han recibido una apreciación positiva excepto la dimensión político institucional, se encuentran alrededor del punto de origen.

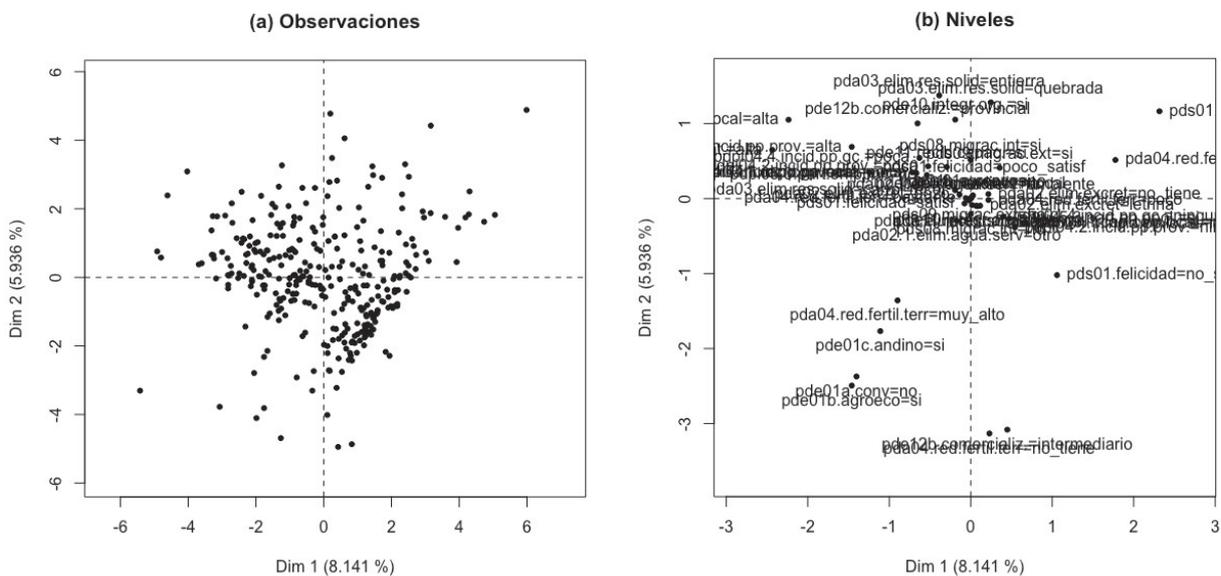
En el *gráfico (c)* se observa que las variables numéricas tienden a vincularse con la primera componente. Existe correlación entre las variables superficie natural y páramos; lo mismo ocurre entre superficie intervenida y superficie con cultivos transitorios y entre superficie de pastos cultivados y diversificación de crianza de

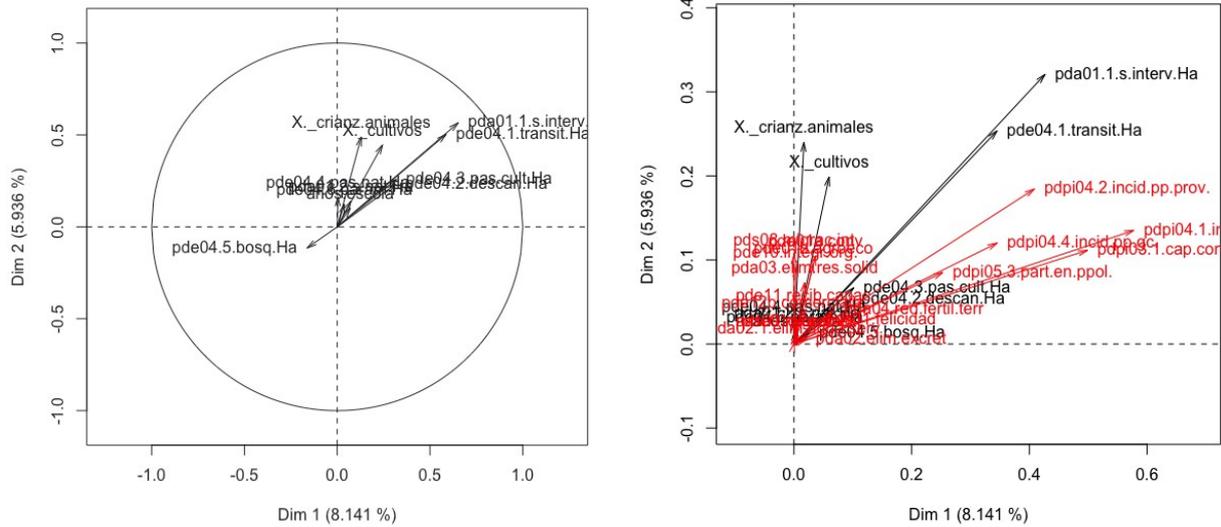
animales. Además, no existe correlación de superficie de pastos naturales con superficie natural y superficie de páramos; finalmente, se aprecia una correlación negativa entre la escolaridad con las variables económico-productivas.

El *gráfico (d)* muestra que las variables categóricas identificadas de color rojo están vinculadas mayormente con el eje vertical, representando una relación lineal entre las variables político-institucionales y ambientales. Por otro lado, las variables numéricas tienden a vincularse con el eje horizontal con una correlación lineal positiva entre variables económico-productivas y las ambientales.

Las salidas gráficas de las variables para la parroquia Palmira se presentan en la *figura 3*, las que permiten el análisis y comparabilidad de la información recopilada.

Figura 3. Salidas gráficas del análisis, parroquia Palmira (2021)





Fuente: Elaboración propia.

El gráfico (a) de la figura anterior muestra las observaciones que están menos agrupadas que en los mapas de las otras parroquias, con una leve dispersión a lo largo de los dos ejes y algunos datos que sobresalen. Las condiciones de vida de esta parroquia, según el gráfico, no son homogéneas, lo cual implica diferencias (aunque no significativas) entre las familias en las variables analizadas.

El gráfico (b) refleja las ubicaciones de las categorías en el mapa, las cuales tienen valoraciones dispersas a lo largo de los dos ejes. Sin embargo, en el lado izquierdo del eje horizontal se encuentran las valoraciones positivas de las variables en las dimensiones social, ambiental y político institucional (mientras que en la parte derecha del mismo eje está la apreciación negativa de las variables en las diferentes dimensiones).

El gráfico (c) muestra algunas variables que se correlacionan: diversidad de cultivos y diversidad de crianza de anima-

les; superficie intervenida y superficie de cultivos transitorios; pastos cultivados y superficie en descanso. Además, se observa una correlación negativa entre las variables: uso de suelos en actividades productivas y uso del suelo para bosque.

El gráfico (d) representa la vinculación de las variables numéricas y categóricas (color rojo) a ambos ejes, de forma que se genera una correlación lineal entre las características económico-productivas y político-institucionales. Asimismo, en la componente dos existe una correlación entre variables económico-productivas y ambientales.

La caracterización de la situación socioeconómica, ambiental y político-institucional de las tres parroquias del cantón Guamate ha permitido identificar una similitud de condiciones en cada caso. Se evidenció una asociación de variables económico-productivas y ambientales, como las variables político-institucionales.

les, sociales y económico-productivas. En este sentido, mientras mayor sea la actividad antrópica en los territorios, mayor será la presión sobre los ecosistemas; también una gestión pública no participativa implica la precarización de las condiciones de vida en cuanto a las actividades productivas, la situación del ambiente y la realidad social de la población en cada territorio.

CONCLUSIONES

La metodología aplicada permitió caracterizar el perfil territorial de las parroquias, con condiciones socioeconómicas, ambientales y político-institucionales similares que las hacen precarias y vulnerables; no obstante, algunas diferencias mínimas entre ellas permiten identificar la mejor (Guamote) de la peor (Palmira). En la dimensión social, los indicadores revelaron brechas importantes respecto al nivel nacional, lo que requiere de una atención urgente de las autoridades de turno para su mitigación. Además, se evidenció como aspecto positivo el nivel de satisfacción con la vida, demostrando que el estado de ánimo es un factor subjetivo y relativo, independiente de la posesión de bienes materiales. Por consiguiente, la satisfacción con la vida es una variable que podría constituir una fortaleza ante los retos que representa la construcción de una ruralidad sostenible.

En la dimensión económico-productiva, la gran mayoría de las fincas desarrollan el sistema de producción agrícola convencional, que es causa principal de la erosión de los suelos y el avance de la frontera agrícola, que prevé consecuencias futuras graves

en la provisión de agua y los servicios ambientales. Esta situación convoca a promover sistemas de producción agroecológico y andino, los cuales se desarrollan de manera marginal. La disponibilidad del agua en cada territorio define la tendencia de la vocación productiva, entre agricultura de secano y producción pecuaria. En este contexto, la crianza de ganado bovino de leche constituye la actividad productiva más importante de las familias en las tres parroquias. La comercialización de productos agrícolas es el cuello de botella de las iniciativas productivas locales; por tanto, sobresaliendo el requerimiento de promover alternativas de solución a este tema, mediante la implementación de estrategias, como la asociatividad de los pequeños productores locales.

En la dimensión ambiental, se destaca la presión de la población sobre los ecosistemas rurales, apoyado por el sistema de producción imperante. Se evidenció el avance de la frontera agrícola en detrimento de las superficies de páramo que tienen la función de retener la humedad y proveer de servicios ambientales. Además, la gran mayoría de familias carece de servicios básicos que dignifiquen la vida en el campo, lo que contribuye para la degradación de los recursos naturales, haciendo necesaria la intervención intersectorial y multinivel para ralentizar la situación y transformar la realidad de las parroquias.

En la dimensión político-institucional, la información nacional evidenció la inequidad en la distribución de ingresos fiscales en los territorios, así como la concentración de la inversión pública en ciertas ciudades élites

a nivel nacional. La participación ciudadana en la gestión pública en las tres parroquias es mínima, lo que indica la necesidad de implementar una gestión pública inclusiva, participativa, descentralizada, transparente y articulada entre los diferentes actores.

El *análisis de componentes principales* demostró la existencia de una asociación de variables de la dimensión económico-productiva con la ambiental, dentro de ello

destacando la oposición entre ecosistemas naturales con los intervenidos. Además, se destaca la capacidad de incidencia de la calidad de gestión pública sobre el resto de las dimensiones. Por tanto, se hace presente la necesidad de reorientar acciones y fortalecer la intervención en todas y cada una de las dimensiones de desarrollo rural, en el marco de la sostenibilidad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Altamirano, A. E. y Beltrán, M. E. (2016). La estructura de la comercialización, financiamiento y transporte de los principales productos agrícolas y su rentabilidad para los agricultores del cantón Guamote. *Revista PUCE*, (103), 185-231. <http://investigaciones.puce.edu.ec/handle/23000/976>
- Arostegui, V. M. (2017). *Análisis desde la comunicación estratégica del programa Creciendo con nuestros guaguas*. [Tesis de maestría, Universidad Andina Simón Bolívar]. Repositorio Institucional UASB. <http://hdl.handle.net/10644/5866>
- Banco Central del Ecuador. (2019). *Reporte de coyuntura sector agropecuario*. (92). <https://bit.ly/3HmtSzp>
- Becker, G. (1964). *Human capital: a theoretical and empirical analysis, with special reference to education*. National Bureau of Economic Research.
- Berdegú, J., Christian, C. y Favareto, A. (Eds.). (2020). *Quince años de desarrollo territorial rural en América Latina ¿Qué nos muestra la experiencia?* Editorial Teseo. <https://bit.ly/3vij0Af>
- Calderón, J. (2019). *La presión antrópica y sus consecuencias en el páramo del cantón Guamote, provincia de Chimborazo* [Tesis de grado, Pontificia Universidad Católica del Ecuador]. Repositorio Institucional PUCE. <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/17617>
- Chalán, J. M. (2019). *Agricultura convencional y agroecología frente al cambio climático: elementos para el análisis a partir de las experiencias en 2 comunidades indígenas de la cuenca de lago San Pablo, Cantón Otavalo, Provincia de Imbabura*. [Tesis de maestría, Universidad Andina Simón Bolívar]. Repositorio Institucional UASB. <http://hdl.handle.net/10644/6634>
- Chavent, M., Kuentz-Simonet, V., Labenne, A., & Saracco, J. (2017, December). Multivariate analysis of mixed data: The R package PCAmixdata. *arXiv: 1411.4911v4 [stat.CO]*. <https://arxiv.org/pdf/1411.4911.pdf>

- De los Ríos, A. (2016). Felicidad y economía: la felicidad como utilidad en la economía. *Equidad y Desarrollo*, 1(26), 115-143. <http://dx.doi.org/10.19052/ed.3700>
- Dirven, M. (2019). *Nueva definición de lo rural en América Latina y el Caribe en el marco de FAO para una reflexión colectiva para definir líneas de acción para llegar al 2030 con un ámbito rural distinto*. 2030- Alimentación, agricultura y desarrollo rural en América Latina y el Caribe, No. 2. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <https://bit.ly/3hEf7ha>
- Dirven, M. y Candia, D. (2020). *Medición de lo rural para el diseño e implementación de políticas de desarrollo rural*. Documentos de Proyectos (LC/TS.2020/25, LC/MEX/TS.2020/4). Comisión Económica para América Latina y el Caribe. <https://bit.ly/3nAFYP7>
- Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Guamote. (2019). Plan de desarrollo y ordenamiento territorial cantón guamote 2019-2023. <https://bit.ly/3sDKz52>
- Loor, P., Bravo, D. y Cobacango, L. (2019). Asimetrías territoriales en el Ecuador: Un enfoque desde el espacio rural. *Revista ECA Sinergia*, 1(10), 123-131. <https://bit.ly/2Xq3VOB>
- López, A. (25 de mayo de 2020). *Cadena de comercialización agropecuaria en Ecuador*. Rebelión. <https://rebellion.org/cadena-de-comercializacion-agropecuaria-en-el-ecuador/>
- López, A. y Hernández, D. (2016). Cambio climático y agricultura: Una revisión de la literatura con énfasis en América Latina. *El Trimestre Económico*, 83(332), 459-496. <https://doi.org/10.20430/ete.v83i332.231>
- Madrid, T. (2019). La política agraria en Ecuador (1965-2015). *Revista Economía*, 70(112), 167-184. <https://bit.ly/3Ad23GS>
- Márquez, L., Vasallo, J., Cuétara, L. y Sablón, N. (2019). Sistema de indicadores para la sostenibilidad en comunidades rurales del Ecuador en el marco de la Agenda 21 local. *Revista Espacios*, 40(18), 28-45. <https://bit.ly/2VMQ2sR>
- Meza, T. J., Cisneros, L. J. y Meza, J. E. (2017). Experiencia de asociatividad en Ecuador: Caso APOVINCES. *Sotavento M.B.A.*, (30), 32-41. <https://bit.ly/3nEmpFJ>
- Montecinos, E. y Contreras, P. (2019). Participación ciudadana en la gestión pública: Una revisión del estado actual. *Revista Venezolana de Gerencia*, 24(86), 341-362. <https://bit.ly/2XhHYRb>
- Montosa, J. (2014). Aplicación de análisis multivariante a espacios en transformación: las periferias de las mayores aglomeraciones urbanas andaluzas. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, (65), 87-112. <https://doi.org/10.21138/bage.1745>

- Moreno, N. (25 de mayo de 2020). *La migración ambiental, un hecho de injusticia climática en Ecuador*. Migraciones climáticas. <https://bit.ly/3hAqG91>
- Municipalidad de Guayaquil. (2020). *Presupuesto de la institución*. <https://www.guayaquil.gob.ec/ley-de-transparencia-2020/>
- Municipio del Distrito Metropolitano de Quito. (2020). *Presupuesto institucional y participativo*. <https://www.quito.gob.ec/documents/Presupuesto2020.pdf>
- Pérez, A. G. y Hernández, M. (2015). Medición de indicadores de desarrollo sostenible en Venezuela: Propuesta metodológica. *Revista Iberoamericana de Economía Ecológica*, 24, 1-19. <https://raco.cat/index.php/Revibec/article/view/298637>
- Quiroga, R. M. (2007). *Indicadores ambientales y de desarrollo sostenible: avances y perspectivas para América Latina*. Serie manuales. Comisión Económica para América Latina y el Caribe. <http://hdl.handle.net/11362/5498>
- Saravia-Matus, S. L. y Aguirre, P. (2019). *Lo rural y el desarrollo sostenible en ALC*. 2030 - Alimentación, agricultura y desarrollo rural en América Latina y el Caribe, No. 3. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <https://bit.ly/3ClPj19>
- Schultz, T. W. (1960). Capital formation by education. *Journal of Political Economy*, 68(6), 571-583. <https://doi.org/10.1086/258393>
- Sepúlveda, S. (2008). *Gestión del desarrollo sostenible en territorios rurales: Métodos para la planificación*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. <https://bit.ly/2XAnsvv>
- Vega, S. A., Malla, C. C. y Bejarano, H. F. (2020). Evidencias del cambio climático en Ecuador. *Revista Científica Agroecosistemas*, 8(1), 72-76. <https://bit.ly/3lofyaw>



Biofiltración de aguas residuales de industrias arroceras de San Jacinto de Yaguachi, Ecuador mediante cascarilla de arroz

Biofiltration of wastewater from rice industries in San Jacinto de Yaguachi, Ecuador using rice husks

Biofiltração de águas residuais de indústrias de arroz em San Jacinto de Yaguachi, Equador usando casca de arroz

Xavier Andrés Iturralde Jácome / Universidad Estatal del Sur de Manabí, Ecuador / iturralde-xavier1475@unesum.edu.ec

Arturo Andrés Hernández Escobar / Universidad Estatal del Sur de Manabí, Ecuador / aharturohdez10@gmail.com

Recibido: 29/04/2022

Aceptado: 15/09/2022

Publicado: 07/10/2022

RESUMEN

Se estima que en el mundo más del 80% de las aguas residuales generadas por actividades antropogénicas son vertidas de manera directa al ambiente. La descarga de estas aguas es una problemática todavía sin resolver en las ciudades, y por ello se requieren de tecnologías económicas a implementarse a nivel doméstico. Ante esta problemática, el presente trabajo tuvo como objetivo evaluar la eficiencia de un biofiltro utilizando sustratos de carbón activado y ceniza (producidos a partir de cascarilla de arroz) para el tratamiento de aguas residuales domésticas. La activación de los sustratos se llevó a cabo mediante procesos fisicoquímicos a temperaturas de 450°C y con el uso de ácido fosfórico. Como resultado de la biofiltración del agua residual, la ceniza permitió una *remoción de color* verdadero (Pt-Co) de hasta 99%. El carbón activado redujo la *turbidez* hasta un 95.3%; mientras que el contenido de *sólidos totales* no fue prácticamente disminuido por ninguno de los sustratos. La presente investigación se vincula con la economía circular dado el uso de un residuo de producción como es la cáscara de arroz.

Palabras clave: carbonización, carbón activado, contaminación ambiental, economía circular, eutrofización, sólidos totales

ABSTRACT

It is estimated that in the world more than 80% of wastewater generated by anthropogenic activities is discharged directly into the environment. The discharge of these waters is a problem still unresolved in cities, and therefore economic technologies are required to be implemented at the domestic level. Given this problem, the present work aimed to evaluate the efficiency of a biofilter using activated carbon and ash substrates (produced from rice husks) for the treatment of domestic wastewater. The activation of the substrates was carried out by means of physicochemical processes at temperatures of 450°C and with the use of phosphoric acid. As a result of the biofiltration of the wastewater, the ash allowed a true color (Pt-Co) removal of up to 99%. Activated carbon reduced turbidity up to 95.3%; while the content of total solids was practically not decreased by any of the substrates. This research is linked to the circular economy given the use of a production residue such as rice husk.

Keywords: activated carbon, carbonization, circular economy, environmental pollution, eutrophication, total solids

RESUMO

Estima-se que no mundo mais de 80% dos efluentes gerados por atividades antrópicas são despejados diretamente no meio ambiente. A descarga dessas águas é um problema ainda não resolvido nas cidades e, portanto, tecnologias econômicas são necessárias para serem implementadas em nível doméstico. Diante desse problema, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a eficiência de um biofiltro utilizando substratos de carvão ativado e cinzas (produzidas a partir de casca de arroz) para o tratamento de efluentes domésticos. A ativação dos substratos foi realizada por meio de processos físico-químicos a temperaturas de 450°C e com o uso de ácido fosfórico. Como resultado da biofiltração do efluente, as cinzas permitiram uma remoção de cor verdadeira (Pt-Co) de até 99%. O carvão ativado reduziu a turbidez em até 95.3%; enquanto o teor de sólidos totais praticamente não foi diminuído por nenhum dos substratos. Esta pesquisa está ligada à economia circular dada a utilização de um resíduo de produção como a casca de arroz.

Palavras chave: carbonização, carvão ativado, economia circular, eutrofização, poluição ambiental, sólidos totais

INTRODUCCIÓN

El cambio climático y la contaminación del agua generarán, según datos de Naciones Unidas, una escasez de agua que afectará a 1 800 millones de personas en 2030 y una mayor cantidad de especies acuáticas se encontrarán en riesgo de extinción. Desde

1970 han desaparecido el 84% de las especies acuáticas, principalmente a causa de la contaminación del agua (United Nations-Water, 2022). Los asentamientos humanos, las industrias y la agricultura son las principales fuentes de contaminación del

agua. Los sistemas agrícolas se han expandido e intensificado en función del aumento de la demanda de alimentos; con este crecimiento se produce un uso excesivo de agroquímicos y agua, generando altas cargas de contaminación en el ambiente (Mateo-Sagasta *et al.*, 2017).

La intensificación de la agricultura (incluida la ganadería) genera un consumo de agua, el cual representa un 75% del total mundial; la industria consume el 20% y el 5% restante es agua para consumo doméstico (United Nations-Water, 2022). Producto a ello, se genera un 80% de aguas residuales sin un respectivo tratamiento (Banco Mundial, 2020). Consecuentemente, dos mil millones de personas utilizan una fuente contaminada con heces, lo que provoca enfermedades como hepatitis, cólera, disentería, fiebre tifoidea y polio (Goddard *et al.*, 2020). A estas descargas sin ningún tratamiento, se suma el sector agropecuario porque las granjas descargan grandes cantidades de agroquímicos, materia orgánica fecal, residuos de medicamentos, sedimentos y drenaje salino a los cuerpos de agua, lo cual genera eutrofización, una de las principales causas del deterioro de los recursos hídricos superficiales (Abbott *et al.*, 2019; Walker *et al.*, 2019; Wurtsbaugh *et al.*, 2019).

Para atenuar la contaminación generada por el agua residual, una alternativa se basa en el uso de carbón activado. Este material es utilizado en procesos de filtración para la adsorción de contaminantes disueltos y suspendidos; es una alternativa efectiva y de bajo costo para reducir la carga de materia

orgánica y también para mejorar las características fisicoquímicas del agua (Menya *et al.*, 2020). El carbón activado a partir de cascarilla de arroz se ha utilizado ampliamente para eliminar metales tóxicos como el cromo y plaguicidas como atrazina (Ajmal *et al.*, 2003; N'Diaye *et al.*, 2019; Khalil *et al.*, 2021; Ataguba y Brink, 2021). Además, el carbón activado es un material que presenta estabilidad térmica y tiene aplicaciones en la adsorción de contaminantes, producción de electrodos y supercondensadores, así como catalizador para sistemas de almacenamiento de energía (Alam *et al.*, 2020).

En Ecuador, el arroz ocupa el tercer lugar en producción, con un total de 1 504 214 t cosechadas en el año 2021, de las cuales un 20% de la masa total corresponde a la cascarilla (Corporación Financiera Nacional, 2021; Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2016). La cascarilla de arroz es un desecho agrícola con alto contenido de lignocelulosa (85%) y cenizas (15% en sílice, óxido de calcio, óxido de magnesio, óxido de potasio y otros componentes); esto representa un potencial de aprovechamiento. Por tanto, el carbón activado obtenido a partir de cascarilla de arroz se utiliza como material adsorbente debido a su estructura altamente porosa y su gran área superficial (Masoud *et al.*, 2016).

En base a los antecedentes expuestos, la presente investigación tuvo como objetivo evaluar la eficiencia de un biofiltro utilizando sustratos de carbón activado y ceniza (ambos materiales producidos a partir de cascarilla de arroz) para el tratamiento de

aguas residuales domésticas. En cuanto a los aportes, es de destacar la implementación de un proceso de obtención de carbón activado mediante una activación fisicoquímica, a partir de cascarilla de arroz procedente de San Jacinto de Yaguachi. La presente investigación constituye una alternativa para el tratamiento de aguas residuales domésticas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para producir carbón activado a escala de laboratorio, se tomaron muestras de 5000 gr de cascarilla de arroz de tres piladoras ubicadas en las siguientes coordenadas geográficas: Johanny (1°06'00.4"S y 80°41'25.7"W), María (1°05'38.7"S y 80°41'58.8"W) y Del Pozo (1°05'45.8"S y 80°42'12.9"W). Las mencionadas empresas están ubicadas en San Jacinto de Yaguachi, provincia de Guayas, Ecuador. En las tres piladoras, se procesa arroz de la variedad INIAP-FL-01. Por otro lado, de cada piladora se obtuvo una muestra de agua residual de tipo doméstico de 50 L para las pruebas de biofiltración y análisis fisicoquímicos; cada muestra provino de la cocina de las piladoras estudiadas.

Carbón activado de cascarilla de arroz

Para la preparación del carbón activado se procedió a una activación física de la cascarilla de arroz a 450°C (ThermoFisher, Lindberg). Para el lavado de impurezas se utilizaron 8 L de agua destilada por cada 300 gr de cascarilla de arroz. Luego del lavado, se secó la muestra de cascarilla para eliminar residuos a 120°C durante una hora. Pasado este proceso térmico, mediante una rampa de 5°C/min, se llevó a cabo la carbonización a una temperatura de

450°C durante una hora, con el fin de obtener el carbón activado (Le Van y Luong, 2014).

Una vez obtenida la carbonización de la cascarilla de arroz se lavó con agua destilada para eliminar cenizas. Estas cenizas fueron posteriormente secadas a 120°C y utilizadas como sustrato en los respectivos tratamientos con agua residual. Con el carbón se procedió a la activación química durante 2 horas, mediante la adición de 500 mL de ácido fosfórico con un 89% de pureza por cada 300 gr de carbón (Luo *et al.*, 2019). La respectiva muestra se pasó por un colador de plástico y se llevó al horno para secarla a una temperatura de 120°C durante una hora. Nuevamente, mediante una rampa de 5°C/min, se procedió a una segunda carbonización a 450°C durante otra hora más.

Caracterización fisicoquímica del agua

Para la caracterización del agua se tomaron muestras puntuales mediante las directrices de la Norma Técnica Ecuatoriana No. 2169 sobre muestreo y conservación de muestras (Instituto Nacional de Normalización, 1998). El agua se caracterizó en base a *sólidos totales*, *turbidez* y *color*, teniendo en cuenta la norma estándar de American Public Health Association (2018).

La *turbidez* en el agua fue medida con un instrumento *Hanna HI-93703* y expresada en unidades nefelométricas de turbidez (NTU). Para la medición del *potencial de hidrógeno* (pH) se tomaron 100 ml de muestra de agua. El pH fue determinado en un dispositivo portátil de marca *Omega (PHH-103B)*. El color verdadero fue medido en unidades de Platino-Cobalto (Pt-Co) con un espectrofotómetro *UV-VIS*

Hanna HI801. La determinación de *sólidos totales* se llevó a cabo tomando como referencia la normativa ASTM-D5907 (American Society for Testing and Materials, 2018). Según esta norma, 100 ml de muestra de agua se colocan en una cápsula de porcelana y luego se seca a 105°C en una estufa, modelo *Memmert UFE-500*, durante 5 horas. Los *sólidos totales* se expresaron en mg/L.

Proceso de biofiltración

En la *tabla 1* se presentan los tratamientos realizados en tres unidades experimentales independientes. En el tratamiento T1 se trabajó con dosis de ceniza de cascarilla de arroz sin

activar de 300 g. Para los tratamientos T2 y T3 se utilizó carbón activado producido a partir de cascarilla de las piladoras estudiadas. En T2 se utilizaron 300 g de carbón activado, mientras que en T3 se utilizaron 200 g del mencionado material. Se aplicó un diseño experimental completamente al azar, con tres repeticiones.

Para la operación del biofiltro se utilizó un reservorio de 5 L de agua residual, los cuales fueron succionados con una bomba centrífuga de 0.25 Hp y recirculados a las carcassas de filtración (1 pulgada de diámetro, 50 cm de altura y material de PVC). El tiempo total de la operación, incluyendo la recirculación, fue de 2 horas.

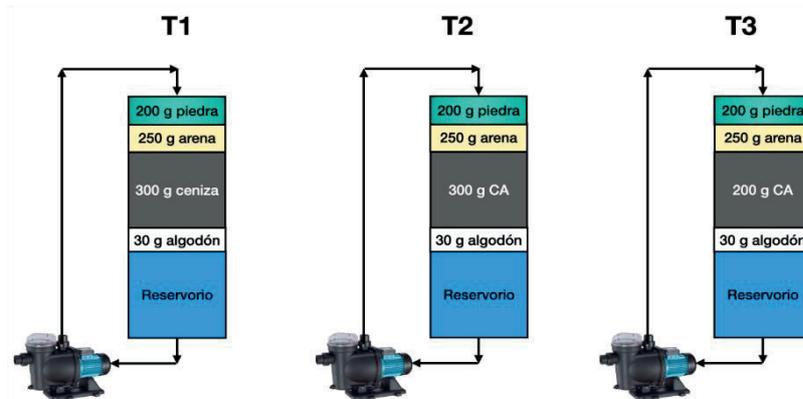
Tabla 1. *Tratamientos utilizando dos sustratos: ceniza y carbón activado.*

Códigos	Tratamientos	Piladora Johnny	Piladora La María	Piladora del Pozo
T1	Biofiltro + Ceniza de cascarilla de arroz	300 g	300 g	300 g
T2	Biofiltro + Carbón activado	300 g	300 g	300 g
T3	Biofiltro + Carbón activado	200 g	200 g	200 g

Fuente: Elaboración propia.

En todos los tratamientos, como lechos de soporte, se utilizaron 200 g de piedra grava, 250 g de arena y 30 g de algodón (*figura 1*).

Figura 1. *Configuración de biofiltros en función del diseño experimental.*



Fuente: Elaboración propia.

RESULTADOS

En la *tabla 2* se resumen los parámetros del agua residual doméstica de las tres piladoras objeto de estudio.

Tabla 2. *Parámetros del agua residual en las diferentes piladoras.*

Piladoras	Parámetros			
	pH	Color (Pt-Co)	ST (mg/L)	Turbidez (NTU)
Del Pozo	7.22	547	110.44	99.99
María	5.72	550	145.54	99.99
Johanny	6.65	363	102.81	80.08

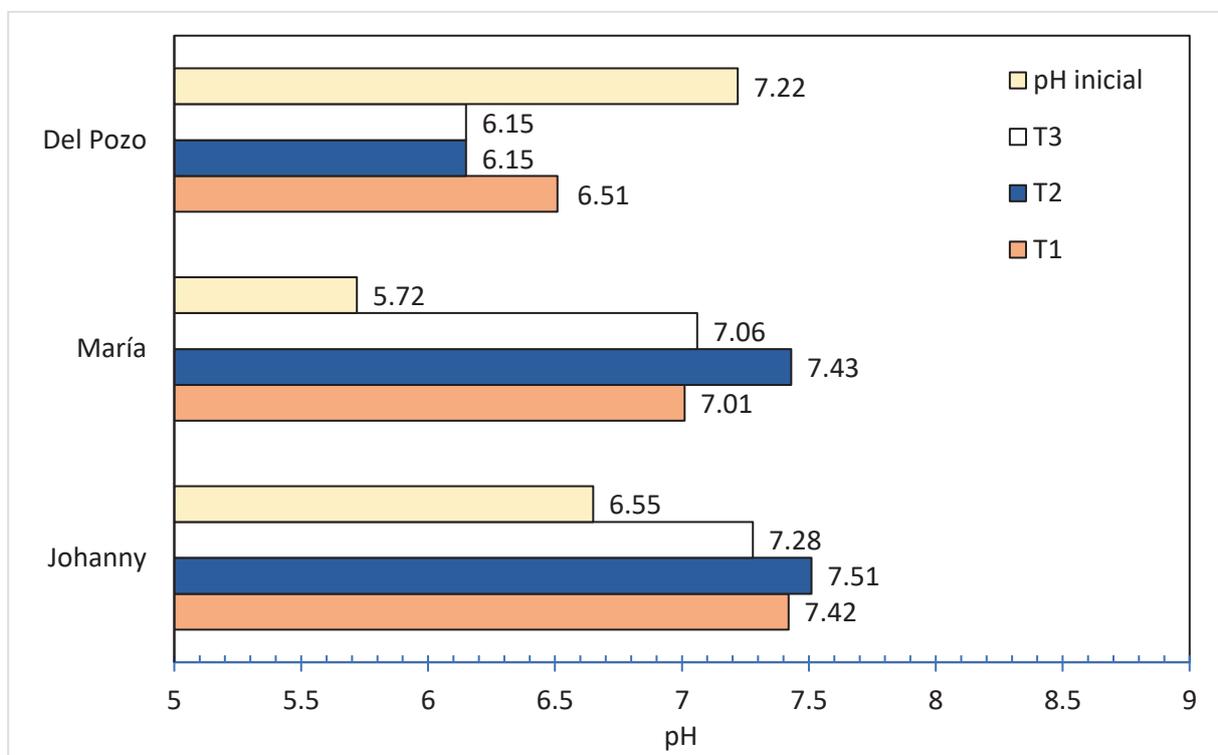
Nota: ST: sólidos totales

Fuente: Elaboración propia.

El pH inicial del agua residual de la piladora Del Pozo, luego de la biofiltración, disminuyó de 7.22 a 6.51 en T1 mediante el uso de ceniza; y hasta un pH de 6.15 en tratamientos con carbón activado T2 (300 g) y T3 (200 g). En

la piladora María el pH del agua residual aumentó de 5.72 a 7.01 para T1, 7.43 para T2 y 7.06 para T3. En la piladora Johanny, luego de la biofiltración, el pH también aumentó ligeramente de 6.65 a 7 (figura 2).

Figura 2. *Efecto de la biofiltración en el pH para el tratamiento de agua residual en tres piladoras.*

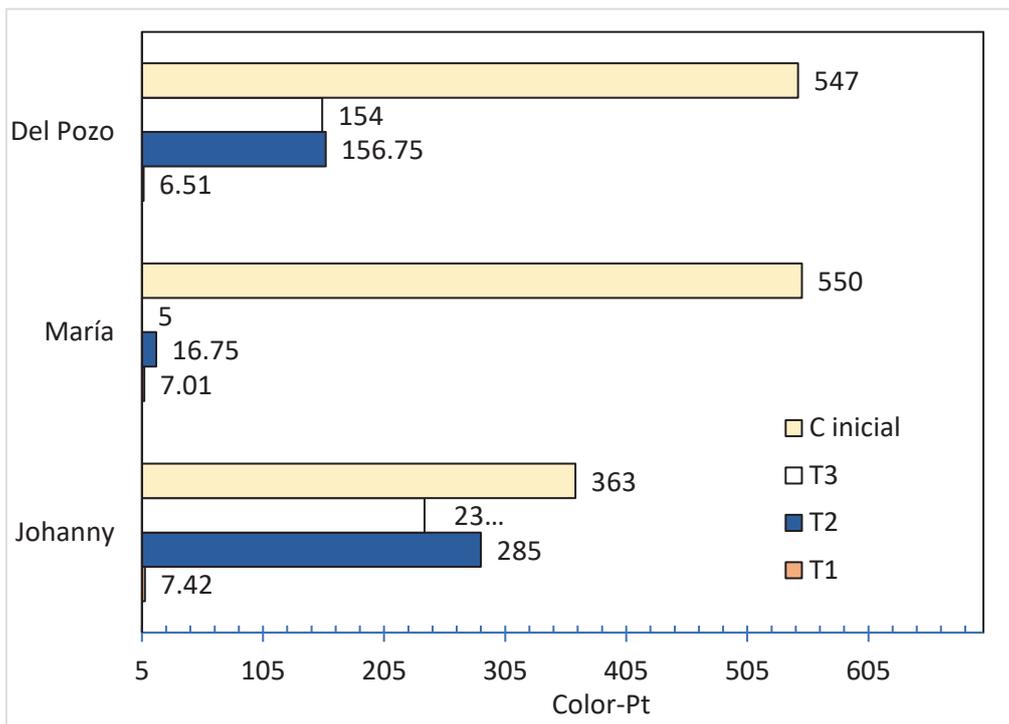


Fuente: Elaboración propia.

En la *figura 3* se presentan los valores de color verdadero, expresados en unidades mg/L Pt-Co. La *Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes* (Ministerio del Ambiente, 2015) establece que para aguas superficiales el color real o verdadero debe estar cercano a 20 Pt-Co. Según los resultados obtenidos, el agua residual doméstica de cada una de las tres piladoras presentó una coloración aproximadamente 27 veces por encima del máximo permisible según la norma ecuatoriana referida anteriormente. El color del agua residual de la piladora Del Pozo (C inicial) disminuyó de 547 a 6.51

mg/L Pt-Co en el tratamiento T1. En los tratamientos T2 y T3, disminuyó a valores entre 156.75 y 154 mg/L Pt-Co. Para el agua residual de la piladora María el color mejoró, pues la ceniza en T1 redujo el color de 550 a 7.01 mg/L Pt-Co. Con el uso del carbón activado se redujo a 16.75 mg/L Pt-Co en T2; y a 5 mg/L Pt-Co en T3. Para el agua residual de la piladora Johnny la ceniza del tratamiento T1 permitió la reducción de color de 363 a 7.42 mg/L Pt-Co; en cambio la biofiltración en T2 decoloró ligeramente de 363 a 285 mg/L Pt-Co y en T3 hasta 238.5 mg/L Pt-Co.

Figura 3. Efecto de la biofiltración en el color para el tratamiento de agua residual en tres piladoras.



Fuente: Elaboración propia.

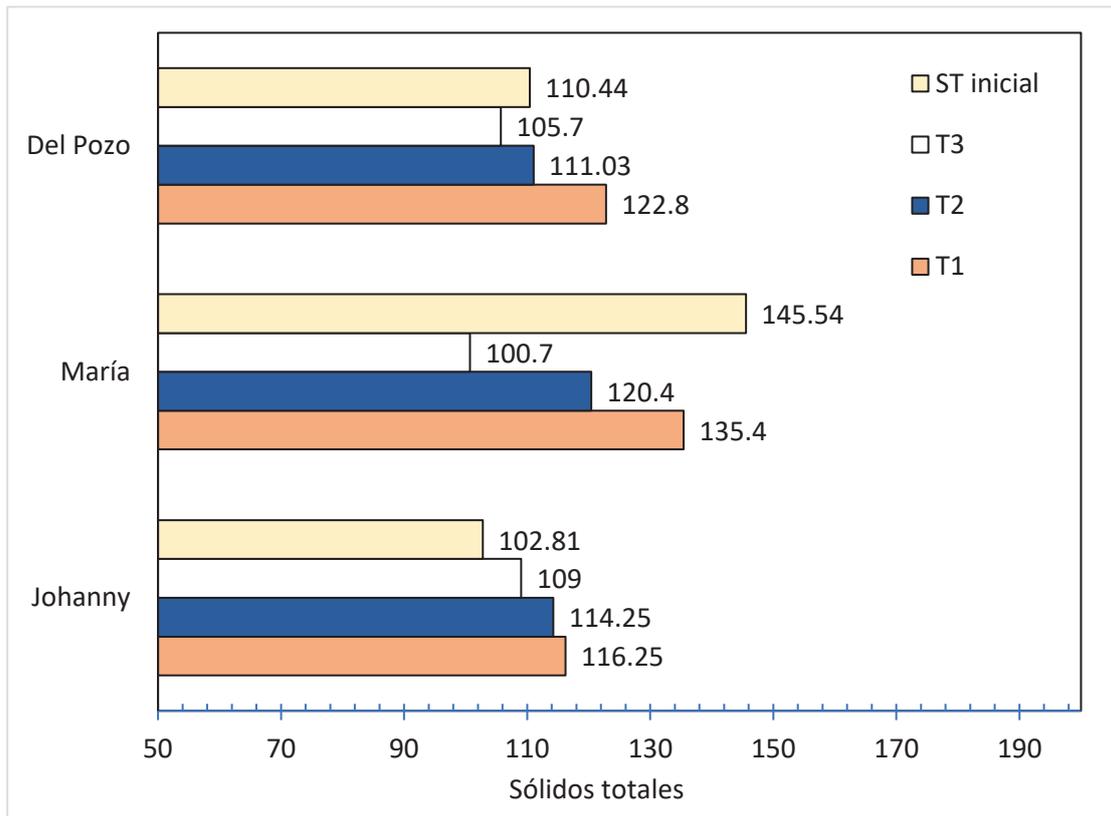
En la *figura 4* se presentan los resultados de la remoción de sólidos totales en mg/L del agua residual (ST inicial). En la piladora Del Pozo, luego del proceso de biofiltración con ceniza de cascarilla, los sólidos totales del

agua residual aumentaron en el tratamiento T1 de 110.44 a 122.8 mg/L. En el tratamiento con carbón activado T2 los sólidos aumentaron de 110.44 a 111.03 mg/L; mientras que en el T3 se logró una ligera reducción de

110.44 a 105.7 mg/L. En la piladora María el tratamiento con ceniza T1 redujo los sólidos totales de 145.54 a 135.4 mg/L; en T2 de 145.54 a 120.4 mg/L y en T3 de 145.54 a

100.70 mg/L. En la piladora Johanny ninguno de los tratamientos fue capaz de reducir los sólidos totales.

Figura 4. Efecto de la biofiltración en sólidos totales para el tratamiento de agua residual en tres piladoras.

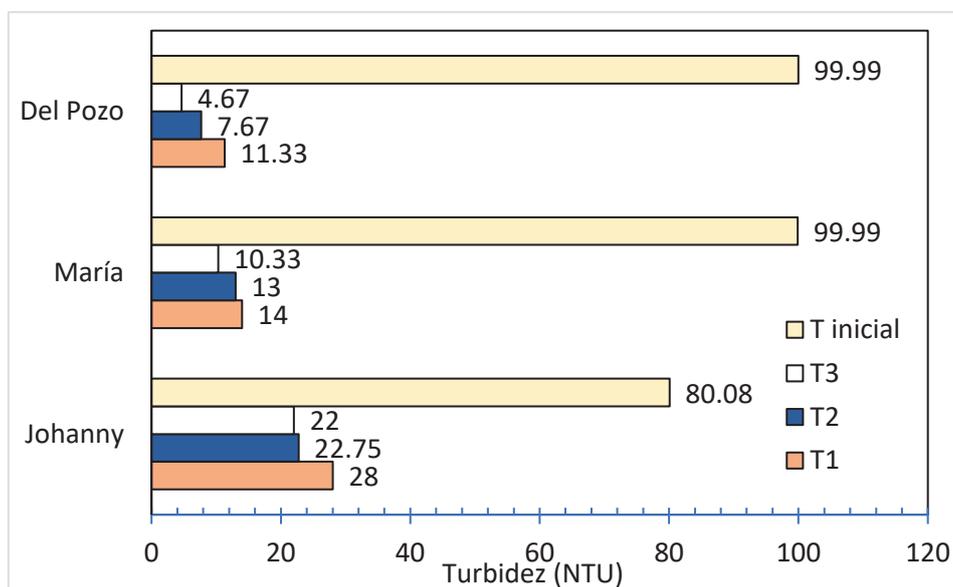


Fuente: Elaboración propia.

En la *figura 5* la disminución de turbidez (NTU) fue notoria en todos los tratamientos. En la piladora Del Pozo la turbidez inicial del agua residual (T inicial) disminuyó en T1 de 99.99 a 11.33 NTU; en T2 la turbidez se redujo a 7.67 NTU y en T3 a 4.67 NTU. Para la piladora María la reducción de turbidez fue menor que en la piladora Del Pozo; donde la

turbidez se redujo de 99.9 a 14 NTU en tratamiento T1. Por su parte, en T2 se redujo la turbidez a 13 NTU y en el tratamiento T3 la remoción fue hasta 10.33 NTU. Por su parte en la piladora Johanny la turbidez del agua residual disminuyó en T1 de 80.08 a 28 NTU, en T2 hasta 22.75 NTU y en T3 hasta 22 NTU.

Figura 5. Efecto de la biofiltración en la turbidez, para el tratamiento de agua en tres piladoras.



Fuente: Elaboración propia.

El ANOVA de un factor (*Microsoft-Excel*) demuestra que para un valor de $p < 0.01$ se obtuvo una diferencia significativa entre los trata-

mientos aplicados en comparación con el agua residual doméstica para las variables *color* y *turbidez*, como se indica en las *tablas 3* y *4*.

Tabla 3. Análisis de varianza para el factor pH.

Fuente de variación	SS	df	MS	F	Probabilidad	F crit
Entre grupos	4.96	3	1.65	2	$1.2 \cdot 10^{-1}$	2.90
Dentro de los grupos	26.04	32	0.81			
Total	31.00	35				

Nota: **SS**: suma de cuadrados; **df**: grados de libertad; **MS**: cuadrado medio; **F** y **F crit**: estadísticos para contraste de hipótesis.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4. Análisis de varianza para el factor color.

Fuente de variación	SS	df	MS	F	Probabilidad	F crit
Entre grupos	657 212.10	3	219 070.72	10.03	$8.21 \cdot 10^{-5}$	2.90
Dentro de los grupos	698 902.09	32	21 840.68			
Total	1 356 114.19	35				

Nota: **SS**: suma de cuadrados; **df**: grados de libertad; **MS**: cuadrado medio; **F** y **F crit**: estadísticos para contraste de hipótesis.

Fuente: Elaboración propia.

En contraste, para las variables *sólidos totales* y *pH*, el ANOVA de un factor demostró que, para un valor de $p > 0.01$ no se obtuvo una diferencia significativa entre los tratamientos aplicados en comparación con el agua residual doméstica. En el presente caso el proceso de biofiltración no tendió a generar un cambio sustancial en el *pH* del agua, dada la natura-

leza de adsorción física y reacción bioquímica de degradación sin generación de iones hidrógeno. En el tratamiento con 200 gr de carbón activado la piladora María fue el más efectivo para remover *sólidos totales*; mientras que en las otras piladoras y tratamientos no hubo una remoción. Por esta razón se obtuvo un valor de $p > 0.01$.

Tabla 5. Análisis de varianza para el factor *sólidos totales*.

Fuente de variación	SS	df	MS	F	Probabilidad	F crit
Entre grupos	21 536.26	3	7178.75	3.29	$3.0 \cdot 10^{-2}$	2.90
Dentro de los grupos	69 790.18	32	2180.94			
Total	91 326.44	35				

Nota: *SS:* suma de cuadrados; *df:* grados de libertad; *MS:* cuadrado medio; *F* y *F crit:* estadísticos para contraste de hipótesis.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6. Análisis de varianza para el factor *turbidez*.

Fuente de variación	SS	df	MS	F	Probabilidad	F crit
Entre grupos	13 896.84	3	4632.28	53.20	$1.0 \cdot 10^{-5}$	4.07
Dentro de los grupos	696.57	8	87.07			
Total	14 593.41	11				

Nota: *SS:* suma de cuadrados; *df:* grados de libertad; *MS:* cuadrado medio; *F* y *F crit:* estadísticos para contraste de hipótesis.

Fuente: Elaboración propia.

DISCUSIÓN

Los resultados luego de la biofiltración fueron comparados con la calidad inicial del agua residual doméstica de cada piladora. En la piladora Del Pozo el *pH* del agua residual cambió a niveles ácidos, luego de utilizar ceniza de cascarilla o carbón activado. En contraste, en la piladora María el *pH* del agua residual cambió a niveles neutros luego de la biofiltración con ceniza o carbón activado a diferentes cantidades. En la piladora Johanny, luego de la biofiltración, el *pH* cambió a niveles alcalinos, así mismo con los diferentes materiales y cantidades. La biofiltración tuvo un efecto en el *pH* final del agua tratada debido al tipo de adsorbente (ceniza o

carbón activado) y cantidad (200 y 300 g). Esta tendencia se atribuye a la mayor disposición de los sitios de adsorción y su área superficial debido al aumento de la cantidad de material adsorbente (Menya *et al.*, 2020). En el caso de la ceniza, esta contiene principalmente sílice y por tanto ocurre una reacción de intercambio iónico con el agua residual mediante sustitución de protones de grupos silanol presentes en la superficie del adsorbente de ceniza (Masoud *et al.*, 2016).

El color del agua residual de la piladora Del Pozo disminuyó significativamente en un 98.8% en el tratamiento con ceniza de cascarilla (T1); mientras que, en los tratamientos T2 y

T3 la disminución ocurrió un 71.3 y 71.8% respectivamente. La piladora María en T1 redujo el color en un 98.7%; 97% en T2 y 99% en T3. Para el agua residual de la piladora Johanny la ceniza del tratamiento T1 permitió la reducción de color en un 97.9%, en T2 se decoloró un 21.5% y en T3 un 34.3%. Según otros estudios, el incremento de la cantidad de carbón activado induce al incremento de color en la biofiltración, en concordancia con los resultados expuestos (Zahid *et al.*, 2016).

La caracterización de carbón activado a partir de cascarilla de arroz indica la formación de una estructura altamente porosa con un área superficial de hasta $2681 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ y presencia de grupos funcionales como carboxilos y silanoles que promueven la adsorción (Li y Xiao, 2019). Dadas estas características, los grupos polares de la superficie del material adsorbente promueve afinidad por contaminantes con esta característica polar (Ahmaruzzaman y Gupta, 2011).

En la piladora Del Pozo, luego del proceso T1 con ceniza, los *sólidos totales* del agua residual aumentaron, ocurriendo lo mismo en el tratamiento con carbón activado T2. Por su parte en T3 hubo una reducción de sólidos totales de 4.10%. En la piladora María el T1 redujo *sólidos totales* un 6.50%, en T2 17.27% y en T3, 30.8%. En la piladora Johanny ninguno de los tratamientos fue capaz de reducir *sólidos totales*. El estudio de Zahid *et al.* (2016) también presentó el mismo fenómeno de aumento de sólidos totales.

En la piladora Del Pozo la *turbidez* del agua residual disminuyó un 88.70%, en T2 92.3% y

en T3 95.30%. En la piladora María la reducción de turbidez fue menor que en la piladora Del Pozo, donde se redujo un 86% para los tratamientos T1 y T2; mientras que en el T3 un 89.7%. En la piladora Johanny la *turbidez* del agua residual disminuyó 65% en el tratamiento T1, 71.60% en T2 y 72.5% en T3. Los resultados de *reducción de color y turbidez* de biofiltración obtenidos en esta investigación concuerdan con los obtenidos por Adams y Mulaba-Bafubiandi (2014), Menya *et al.* (2020) y Zahid *et al.* (2016).

Como se espera para un sistema de adsorción de sólidos suspendidos, el carbón activado no logró un nivel de reducción significativo en el contenido de sólidos totales. Por tanto, es necesario aplicar tratamientos primarios o secundarios para remover sustancias biodegradables responsables de sólidos totales.

CONCLUSIONES

Se utilizaron dos sustratos para la biofiltración de agua residual doméstica: ceniza de cascarilla de arroz y carbón activado obtenido de la misma cascarilla de arroz. El *pH* ácido del agua residual fue neutralizado con ambos materiales adsorbentes debido a la disponibilidad de grupos funcionales, en beneficio de la calidad final. Con respecto a la capacidad de adsorción, se obtuvo mayor efectividad en la *remoción de color y turbidez* para ambos materiales adsorbentes. La ceniza al tener menos material particulado se destacó para la remoción del color, mientras que el carbón activado removió *turbidez* de manera óptima dada su alta porosidad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adams, F. V. y Mulaba-Bafubiandi, A. F. (2014). Application of rice hull ash for turbidity removal from water. *Physics and Chemistry of the Earth*, 72–75, 73–76. <https://doi.org/h92z>
- Ahmaruzzaman, M. y Gupta, V. K. (2011). Rice husk and its ash as low-cost adsorbents in water and wastewater treatment. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 50(24), 13589–13613. <https://doi.org/crh3wb>
- Ajmal, M., Rao, A. K. R., Anwar, S., Ahmad, J. y Ahmad, R. (2003). Adsorption studies on rice husk: removal and recovery of Cd (II) from wastewater. *Bioresource Technology*, 86(2), 147–149. <https://doi.org/dhptpz>
- Alam, M., Hossain, A., Hossain, D., Johir, M. A. H., Hossen, J., Rahman, S., Zhou, J. L., Hasan, A. T. M. K., Karmakar, A. K. y Ahmed, M. B. (2020). The potentiality of rice husk-derived activated carbon: from synthesis to application. *Processes*, 8(2), 203. <https://doi.org/h925>
- American Society for Testing and Materials. (2018). *Standard Test Methods for Filterable Matter (Total Dissolved Solids) and Nonfilterable Matter (Total Suspended Solids) in Water*. ASTM International
- Ataguba, C. O. y Brink, I. (2021). Design and construction of laboratory-scale activated carbon, gravel, and rice husk filter columns for the treatment of stormwater runoff from automobile workshops. *Journal of the South African Institution of Civil Engineering*, 63(1). <https://doi.org/h95w>
- Banco Mundial. (19 de marzo de 2020). *El agua residual puede generar beneficios para la gente, el medioambiente y las economías, según el Banco Mundial* [Comunicado de prensa]. <https://bit.ly/3AFHXXn>
- Corporación Financiera Nacional. (2021). *Agricultura e industria manufacturera. Cultivo de arroz. Ficha Sectorial Arroz*. <https://bit.ly/3Q9VDiX>
- Goddard, F. G. B., Pickering, A. J., Ercumen, A., Brown, J., Chang, H. H. y Clasen, T. (2020). Faecal contamination of the environment and child health: a systematic review and individual participant data meta-analysis. *The Lancet Planetary Health*, 4(9), e405–e415. <https://doi.org/h957>
- Instituto Nacional de Normalización. (1998). *Agua. Calidad del agua. Muestreo. Manejo y conservación de muestras* (1ª ed.). <https://bit.ly/3BiWjNn>

- Khalil, U., Shakoor, M. B., Ali, S., Ahmad, S. R., Rizwan, M., Alsahli, A. A. y Alyemeni, M. N. (2021). Selective removal of hexavalent chromium from wastewater by rice husk: Kinetic, isotherm and spectroscopic investigation. *Water*, 13(3), 263. <https://doi.org/h96b>
- Le Van, K. y Luong, T. T. (2014). Activated carbon derived from rice husk by NaOH activation and its application in supercapacitor. *Progress in Natural Science: Materials International*, 24(3), 191–198. <https://doi.org/ggqm7r>
- Li, M. y Xiao, R. (2019). Preparation of a dual pore structure activated carbon from rice husk char as an adsorbent for CO₂ capture. *Fuel Processing Technology*, 186, 35–39. <https://doi.org/h96d>
- Luo, Y., Li, D., Chen, Y., Sun, X., Cao, Q. y Liu, X. (2019). The performance of phosphoric acid in the preparation of activated carbon-containing phosphorus species from rice husk residue. *Journal of Materials Science*, 54, 5008–5021. <https://doi.org/gp4n7d>
- Masoud, M. S., El-Saraf, W. M., Abdel- Halim, A. M., Ali, A. E., Mohamed, E. A. y Hasan, H. M. I. (2016). Rice husk and activated carbon for wastewater treatment of El-Mex Bay, Alexandria Coast, Egypt. *Arabian Journal of Chemistry*, 9(2), S1590–S1596. <https://doi.org/h96w>
- Mateo-Sagasta, J., Marjani-Zadeh, S., Turrall, H. y Burke, J. (2017). Water pollution from agriculture: A global review. Food and Agriculture Organization of the United Nations/International Water Management Institute. <https://bit.ly/3clqlwx>
- Menya, E., Olupot, P. W, Storz, H., Lubwama, M. y Kiros, Y. (2020). Synthesis and evaluation of activated carbon from rice husks for removal of humic acid from water. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 12, 3229–3248. <https://doi.org/gjg9dm>
- Ministerio del Ambiente. (2015). *Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso Agua. Anexo 1 del libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente*. <https://bit.ly/3LIM9jj>
- N'Diaye, A. D., Boudokhane, C., Kankou, M. y Dhaouadi, H. (2019). Potential of rice husk ash in atrazine removal. *Chemistry and Ecology*, 35(7), 678–692. <https://doi.org/h96z>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2016). *Seguimiento del mercado del arroz de la FAO* (Vol. XIX) <https://bit.ly/3Qfu0oC>
- United Nations-Water. (2022). *UN World Water Development Report. United Nations. World Water Development Report 2022*. <https://bit.ly/3BxxJKb>

- Walker, D. B., Baumgartner, D. J., Gerba, C. P. y Fitzsimmons, K. (2019). Surface water pollution. In M. Brusseau, I. Pepper, Ch. Gerba (Eds.), *Environmental and pollution science* (pp. 261–292). Elsevier. <https://doi.org/h967>
- Wurtsbaugh, W. A., Paerl, H. W. y Dodds, W. K. (2019). Nutrients, eutrophication, and harmful algal blooms along the freshwater to marine continuum. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 6(5). <https://doi.org/ghwt7s>
- Zahid, I., Hussain, S., Malghani, N., Naeem, Z., Amin, M., Mushtaq, F. y Anwer, A. (2016). Municipal wastewater treatment using rice husk and kikar charcoal as activated carbon. *International Research Symposium on Engineering Advancements, 2016*. <https://bit.ly/3KIEuvG>



Sostenibilidad en sistemas de producción ovina del municipio de Ixmiquilpan, estado Hidalgo, México

Sustainability in sheep production systems in the municipality of Ixmiquilpan, Hidalgo state, Mexico

Sustentabilidade em sistemas de produção de ovinos no município de Ixmiquilpan, estado de Hidalgo, México

Juan Manuel Vargas Romero / Universidad Autónoma Metropolitana, México / jmvr@xanum.uam.mx

Ulises Graciano Soto Ortiz / Universidad Autónoma Metropolitana, México / usotoo@jpn.mx

Hermenegildo Román Losada Custardoy / Universidad Autónoma Metropolitana, México / hrlc@xanum.uam.mx

José Cortés Zorrilla / Universidad Autónoma Metropolitana, México / jocz@xanum.uam.mx

Jorge Eduardo Vieyra Durán / Universidad Autónoma Metropolitana, México / vdje@xanum.uam.mx

Viridiana Alemán López / Universidad Autónoma Metropolitana, México / alv@xanum.uam.mx

Lorena Luna Rodríguez¹ / Universidad Autónoma Metropolitana, México / llunaro@xanum.uam.mx

Recibido: 22/1/2022

Aceptado: 27/5/2022

Publicado: 15/6/2022

RESUMEN

El objetivo fue evaluar la sostenibilidad de unidades de producción pecuaria de ovinos del municipio de Ixmiquilpan, estado Hidalgo, México. Los indicadores fueron descritos considerando las características locales de la región, entrevistas previas y la información de la encuesta. Para posibilitar la integración de los indicadores de distinta naturaleza, estos fueron transformados a una escala de 0 a 12.5 (independientemente de su unidad original), donde 12.5 fue el valor de mayor sostenibilidad y 0 el más bajo. Además, se realizó la ponderación de los indicadores utilizando un coeficiente, este factor dependió de la importancia relativa de cada indicador. Los datos se obtuvieron mediante la encuesta aplicada a los productores, luego se sistematizaron para después evaluar el grado de sostenibilidad en las dimensiones social, ecológica y económica, obteniéndose valores de 62, 70 y 47, respectivamente. En las unidades de producción pecuaria de este es-

¹ Autor de correspondencia

tudio se obtuvieron valores de sostenibilidad altos en los componentes de la dimensión ecológica, ya que el proceso productivo minimiza el deterioro ecológico. Los sistemas de producción ovina analizados se mantienen económicamente; lo cual es importante para la contribución en la economía regional, influyen en lo social y cohabita de una forma medida con su entorno natural.

Palabras clave: dimensión ecológica, dimensión económica, dimensión social, gestión ambiental, indicadores ambientales, racionalidad ecológica

ABSTRACT

The objective was to evaluate the sustainability of sheep production units in the municipality of Ixmiquilpan, Hidalgo State, Mexico. The indicators were described considering the local characteristics of the region, previous interviews, and survey information. To enable the integration of indicators of different nature, they were transformed to a scale from 0 to 12.5 (regardless of their original unit), where 12.5 was the highest sustainability value and 0 the lowest. In addition, the indicators were weighted using a coefficient, this factor depended on the relative importance of each indicator. The data were obtained through the survey applied to the producers, then they were systematized to later evaluate the degree of sustainability in the social, ecological and economic dimensions, obtaining values of 62, 70 and 47, respectively. In the livestock production units of this study, high sustainability values were obtained in the components of the ecological dimension since the production process minimizes ecological deterioration. The sheep production systems analyzed are economically sustainable, which is important for their contribution to the regional economy, have a social influence and coexist in a measured way with their natural environment.

Keywords: dimensão ecológica, dimensão econômica, dimensão social, gestão ambiental, indicadores ambientais, racionalidade ecológica

RESUMO

O objetivo foi avaliar a sustentabilidade das unidades de produção de ovinos no município de Ixmiquilpan, estado de Hidalgo, México. Os indicadores foram descritos considerando as características locais da região, entrevistas anteriores e as informações da pesquisa. Para possibilitar a integração de indicadores de outra natureza, estes foram transformados em uma escala de 0 a 12.5 (independentemente de sua unidade original), sendo 12.5 o valor de maior sustentabilidade e 0 o menor. Além disso, a ponderação dos indicadores foi realizada através de um coeficiente, fator esse que dependia da importância relativa de cada indicador. Os dados foram obtidos através do inquérito aplicado aos produtores, depois foram sistematizados para posteriormente avaliar o grau de sustentabilidade nas dimensões social, ecológica e econômica, obtendo valores de 62, 70 e 47, respectivamente. Nas unidades de produção pecuária deste estudo, foram obtidos altos valores de sustentabilidade nos componentes da

dimensão ecológica, dado que o processo de produção minimiza a deterioração ecológica. Os sistemas de produção de ovinos analisados são mantidos economicamente; importante para a contribuição para a economia regional, influencia o social e convive de forma comedida com seu ambiente natural.

Palavras chave: dimensão ecológica, dimensão econômica, dimensão social, gestão ambiental, indicadores ambientais, racionalidade ecológica

INTRODUCCIÓN

Para la humanidad, los temas implícitos en el desarrollo de la sociedad, teniendo presentes las diferentes determinaciones que van desde lo ecológico, económico y social, siguen siendo los relacionados con el desarrollo sostenible y la sostenibilidad. En su acepción inicial, se reconoce como un principio de regulación normativa para la sociedad contemporánea, por circunscribir una relación ética a largo plazo con el ecosistema (Zarta, 2018; Sánchez-Rodríguez y Anzola-Morales, 2021). Sus implicaciones causan controversia, ya que, no solo establece la satisfacción de las necesidades de la generación actual y de las generaciones futuras; sino también considera la existencia de condiciones económicas, sociales, políticas, culturales y educativas que permitan influir en la calidad de vida de las sociedades; manteniendo la armonía con el entorno y evitando la presencia de externalidades ecológicas negativas. Para los sistemas de producción agropecuarios, la sostenibilidad se analiza de forma integral y, en consecuencia, su evaluación tiene una multiplicidad de marcos conceptuales y enfoques metodológicos en los cuales se articulan diferentes niveles, escalas y dimensiones (Pinedo-Taco *et al.*, 2021; Tonolli y Ferrer, 2018). Además, se realiza tanto en el ámbito regional, como en

escala predial en las unidades de producción pecuaria (UPP) recurriendo al uso de indicadores, los cuales se proponen de acuerdo al modelo ganadero analizado debido a la carencia de un conjunto de indicadores universales (Guo *et al.*, 2018).

La sostenibilidad en las UPP se debilita por las repercusiones negativas que supone la realización de algunas prácticas agropecuarias (Stoll-Kleemann y O'Riordan, 2015). Los rasgos comúnmente afectados son: la erosión del suelo, la contaminación del suelo y el agua; estos se relacionan de manera directa con las entradas al sistema (laboreo, fertilizantes, herbicidas, plaguicidas) y, en general, con la intensificación (presión de pastoreo en ganadería). Lo anterior, se debe considerar al evaluar la sostenibilidad, ya que mientras más entradas se requieran para lograr un determinado nivel de producción, mayor es el riesgo de influir negativamente en un ecosistema; por lo cual, es ineludible reconsiderar las formas actuales de producción de alimentos; pues la producción sostenible no implica obtener mayor ganancia económica a cualquier costo, sino producir de modo que se asegure el bienestar integral de productores, consumidores y del ambiente (Albarracín-Zaidiza *et al.*, 2019).

El estado Hidalgo concentra el 13% de la población ovina de México, ocupando el segundo lugar a nivel nacional y para el 2019 el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera reportó 1 131 718 cabezas de ovinos. El sistema de producción dominante en la región es de tipo extensivo y dependiente del uso de vegetación de naturaleza biológica diversa. Otras consideraciones de los sistemas productivos en la zona son los cambios que ha tenido a causa de la modernización e intensificación de la agricultura y al establecimiento de nuevas relaciones económicas y comerciales con las zonas urbanas, lo que ha provocado despoblación, reducción o abandono continuo de la ganadería en las zonas rurales. La producción de pequeños rumiantes tiene un papel socioeconómico y ecológico importante en todo el mundo; por ello, la sostenibilidad de los sistemas de producción plantea nuevos desafíos a la economía, la salud, el bienestar animal y los impactos ecológicos. En este contexto, el objetivo de este estudio fue evaluar la sostenibilidad de las UPP de ovinos del municipio Ixmiquilpan, estado Hidalgo, México.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación geográfica

Ixmiquilpan es un municipio del estado Hidalgo y de acuerdo con el mapa general de la Estados Unidos Mexicanos, se localiza entre las coordenadas 20°29' 00" latitud norte y 99°13' 00" longitud oeste. Tiene una extensión territorial 565.3 km² y una altitud de 1700 m.

Obtención de datos

Se consideró el universo de las UPP registradas en el Padrón Ganadero Nacional para el municipio de Ixmiquilpan, Hidalgo, en este padrón se reportaron 100 UPP con finalidad zootécnica de carne en condiciones de estabuladas/traspatio y agostadero. Se consideró un nivel de confianza de 95% y el valor de la distribución normal de 1.96 con estas variables descritas, la fórmula que se utilizó para calcular el tamaño de la muestra (Ochoa *et al.*, 2020) fue la siguiente:

$$n = \frac{N * Z_{\alpha}^2 * p * q}{d^2 * (N - 1) + Z_{\alpha}^2 * p * q}$$

Donde:

n = Tamaño de muestra buscado

N = Tamaño de la población o universo

Z= Parámetro estadístico que depende el nivel de confianza

d = Error de estimación máximo aceptado

p = Probabilidad de que ocurra el evento estudiado (éxito)

q = (1 - p) = Probabilidad de que no ocurra el evento estudiado

Al sustituir los valores de las variables involucradas, el tamaño de muestra que se obtuvo fue n=80

Enfoque metodológico

El enfoque teórico utilizado fue con la finalidad de analizar los procesos agropecuarios y entender la problemática de forma integral y holística. Por lo tanto, se consideró a las UPP como las unidades fundamentales de estudio y fueron analizadas e investigadas como un todo.

Determinación de componentes y construcción de los indicadores

Los datos e información para determinar los componentes y la construcción de los indicadores se obtuvieron mediante una encuesta aplicada a la población muestra (80 unidades de producción pecuaria), donde también se realizaron observaciones de campo. Para la dimensión social, económica y ecológica los indicadores se construyeron y se describieron, modificando la metodología de Losada *et al.* (2009). Posteriormente, los indicadores se agruparon en componentes que tienen las siguientes características: sencillos de obtener, de interpretar y que permitan detectar la tendencia en los sistemas productivos (Pinedo-Taco *et al.*, 2018).

Estandarización y ponderación de los indicadores

Los indicadores se estandarizaron mediante su transformación a una escala de 0 a 12.5, donde el valor de 12.5 representa el de mayor sostenibilidad y 0 la categoría menos sostenible. Independientemente de las unidades originales cada indicador

fue convertido y expresado en algún valor de la escala, para facilitar la integración de los indicadores de distinta naturaleza.

La ponderación se realizó multiplicando el valor de la escala por un coeficiente, este factor dependió de la importancia relativa de cada indicador respecto a la sostenibilidad. Por ejemplo, en este estudio, para la dimensión social el componente que se consideró más importante fue la satisfacción de las necesidades básicas, específicamente *vivienda y servicios*; por lo tanto, se realizó una ponderación a este indicador dándole el doble del valor que al resto al multiplicarlo por un coeficiente de 2.

Descripción de indicadores para la dimensión económica

Para la dimensión económica se consideraron dos componentes: *viabilidad económica* y *eficiencia de proceso productivo*; con los siguientes indicadores:

a) Viabilidad económica

Autosuficiencia: (0) 1 producto; (4) 2 a 3 productos; (8) 3 a 4 productos; (12.5) más de 4 productos.

Canales de comercialización: (0) 1 canal; (4) 2 canales; (8) 3 canales; (12.5) 4 o más canales.

b) Eficiencia de proceso productivo

Flujo: (0) solo autoconsumo; (4) 1 anual bajo; (8) 1 anual adecuado; (12.5) 2 anuales.

Flujo económico/rebaño: (0) no tiene idea; (4) menor al valor del mercado; (8)

similar al valor del mercado; (12.5) mayor al valor del mercado.

Económico/estacional: (0) no hay; (4) menor al 50%; (8) mayor al 50%; (12.5) el 100%.

Flujo económico/anual: (0) no hay; (4) menor al 50%; (8) mayor al 50%; (12.5) el 100%.

Descripción de indicadores para la dimensión social

Para la dimensión social se consideraron tres componentes: satisfacción de las necesidades básicas, integración social y autonomía; que recogen los siguientes indicadores:

a) Satisfacción de las necesidades básicas

Escolaridad: (0) sin estudios; (4) estudios de nivel básico; (8) estudios de nivel medio básico y medio superior; (12.5) estudios de nivel superior o más.

Vivienda y servicios: (0) vivienda mala, sin terminar, deteriorada, piso de tierra y ningún servicio; (4) vivienda regular, sin terminar o deteriorada e instalación de agua y luz; (8) vivienda terminada, buena e instalación de agua, luz y drenaje; (12.5) vivienda terminada, muy buena e instalación completa de agua, luz y teléfono.

Aprendizaje de la producción: (0) en proceso de aprendizaje; (4) lo aprendió en la escuela; (8) lo aprendió de algún familiar; (12.5) lo aprendió de sus padres.

b) Integración social

Trabajo colectivo: (0) nulo; (4) bajo; (8) medio; (12.5) alto.

Tiempo de vivir en el lugar: (0) 5 años; (4)

de 6 a 19 años; (8) más de 20 años; (12.5) toda la vida.

c) Autonomía

Generación de empleo: (0) ningún empleo; (4) autoempleo; (8) un empleado; (12.5) más de 2 empleados.

Antigüedad de dedicarse a la producción: (0) 1 año; (4) de 2 a 10 años; (8) de 11 a 20 años; (12.5) más de 20 años.

Descripción de indicadores para la dimensión ecológica

Para la dimensión ecológica se consideraron cuatro componentes: diversidad, transmisibilidad, organización del espacio y salud del hato; con los siguientes indicadores:

a) Diversidad

Diversidad de especies pecuarias: (0) una sola raza; (4) dos razas; (8) dos razas o más con muy bajo nivel de asociación entre las especies; (12.5) razas criollas con asociación entre las especies.

b) Transmisibilidad

Capacidad de persistencia y sucesión: (0) unipersonal; (4) una generación con varios miembros integrados al sistema de producción; (8) dos generaciones integradas al sistema de producción; (12.5) tres generaciones integradas al sistema de producción.

Aprovechamiento de recursos locales: (0) uso de insumos externos; (4) alimentación a base de forrajes y nivel medio del uso de insumos externos; (8) alimentación a base de forrajes y nivel bajo del uso de insumos externos; (12.5) alimentación con forrajes nativos para la alimentación y uso nulo de insumos externos.

c) *Organización del espacio*

Espacio per cápita: (0) menor a 2 m²/oveja; (4) menores a 4 m² y mayores a 2 m²/oveja; (8) 4 m²/oveja; (12.5) mayores a 4 m²/oveja.

Manejo de materia orgánica: (0) se abona con fertilizantes inorgánicos y se regala las excretas de los animales; (4) en un 50% se venden las excretas y 50% se abona con excretas provenientes de los animales; (8) en un 100% se abona con excretas; (12.5) en un 100% se abona con composta.

d) *Salud del hato*

Comportamiento del rebaño: (0) distribución compacta sin aprovechamiento de la superficie; (4) distribución dispersa sin aprovechamiento de la superficie; (8) distribución dispersa y aprovechamiento de la superficie; (12.5) distribución dispersa, desplazamiento espontáneo, mayor ocupación y aprovechamiento de la superficie.

Aspecto del rebaño: (0) condición corporal 1; (4) condición corporal 2; (8) condición corporal 4 y 5; (12.5) condición corporal 3.

Sanidad y alimentación: (0) sanidad controlada, sin medidas preventivas y registros, y la ración es comprada; (4) sanidad controlada, con medidas preventivas y sin registros, y 50% de la ración es comprada; (8) sanidad controlada, con medidas preventivas y registros, y 20% de la ración es comprada; (12.5) sanidad controlada, con medidas preventivas y registros, y 100% de la ración proviene del sistema productivo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A pesar de existir estudios que evalúan la sostenibilidad en el ámbito de la UPP (Pinedo-Taco *et al.*, 2021) no hay consenso que preestablezca un conjunto de indicadores para uso universal; por lo que, el empleo de indicadores en un análisis multicriterio permite cuantificar los distintos aspectos que conforman un sistema de producción agropecuario. Las tres dimensiones señaladas en este estudio son fundamentales para el desarrollo sostenible en las zonas rurales y en particular de los sistemas de producción animal para la prosperidad de las economías rurales, la obtención de beneficios ecológicos y aporte desde una perspectiva socio-cultural. La metodología aplicada (Losada *et al.*, 2009) en este estudio fue con enfoque holístico y se tradujo en una serie de indicadores que permitieron evaluar el grado de sostenibilidad en las dimensiones social (62), ecológica (70) y económica (47).

En este estudio, en la dimensión social, las UPP en el componente de *autonomía* para el indicador *generación de empleo* se obtuvo un valor bajo (tabla 1), debido a que los sistemas productivos emplean mano de obra familiar. Lo anterior es compensado al ser una actividad que se realiza de forma tradicional y además el tiempo de dedicación (mayor experiencia) a la ovinocultura agrega puntos al indicador de *antigüedad de dedicarse a la producción*, lo cual es similar a lo reportado por Cruz *et al.* (2013). Sin embargo, esta dimensión es debilitada por el componente de *integración social* debido al poco interés de pertenencia y permanencia a organizaciones marcado con un valor bajo en el indicador de *trabajo colectivo*.

Tabla 1. Valor de sostenibilidad en la dimensión social en las UPP ovina del municipio de Ixmiquilpan, estado Hidalgo, México.

Componente	Indicadores	Valor	
		UPP*	Máximo
Satisfacción de las necesidades básicas	Escolaridad	8.2	12.5
	Vivienda y servicios ^a	16.1	25
	Aprendizaje de la producción	10.6	12.5
Integración social	Trabajo colectivo	2.8	12.5
	Tiempo de vivir en el lugar	9.9	12.5
Autonomía	Generación de empleo	4	12.5
	Antigüedad de dedicarse a la producción	10	12.5
Total		62	100

Nota: Valor de sostenibilidad para los indicadores: 0, 4, 8 y 12.5; ^a: Ponderación del indicador con un coeficiente 2; *: Valor promedio obtenido en las UPP.

Fuente: Elaboración propia.

Las UPP analizadas cumplieron apropiadamente con los componentes de la dimensión ecológica (tabla 2). Las condiciones consideradas para que estos sistemas sean ecológicamente sostenibles son: el tratamiento de la materia orgánica (reciclaje al elaborar composta) como es el principal factor que controla las propiedades del suelo y sus principales ciclos biogeoquímicos y la conservación y uso adecuado del capital natural. Así mismo, Caroprese *et al.* (2015) reportaron que la sostenibilidad ecológica cuando se aplica a los animales de granja se asocia al manejo de los desechos de la cría de animales (excretas y orina) y al impacto negativo por la contaminación del aire, el suelo y el agua.

El *manejo de materia orgánica* (11.3) confirma la existencia de una racionalidad ecológica, saberes y prácticas implícitas en las diferentes formas de apropiación y manejo de los bienes y servicios que proporciona la naturaleza por parte de los productores

agropecuarios de la zona en estudio; lo cual minimiza el agotamiento de los recursos naturales locales. Lo anterior, se respalda debido a que, en términos de manejo y aplicación de estiércol, cuando las excretas se depositan directamente en los pastos y campos, no se agrega una cantidad significativa de emisiones de metano. Además, cuando los animales se alimentan exclusivamente de pastos o sin un uso significativo de fertilizantes químicos, los ciclos de nutrientes se cierran y se mantienen el equilibrio. El estiércol es la fuente más importante de nutrientes y beneficia la fertilidad del suelo, la capacidad de retención de agua y el contenido de materia orgánica. Las soluciones para mejorar la eficiencia del empleo de nitrógeno y fósforo en la producción animal se basan en un conjunto coherente de actividades en toda la cadena producción de piensos-producción animal-gestión del estiércol (Liu *et al.*, 2017). La fertilización a base de estiércol (dosis adecuadas) logra altos rendimientos

de los cultivos, mejora la calidad del suelo, promueve la sostenibilidad y la eficiencia de los ecosistemas agrícolas a largo plazo (Altieri *et al.*, 2017). De lo contrario existirá no solo una reducción del rendimiento, sino también de la acumulación de fósforo y po-

tasio en el suelo (Geng *et al.*, 2019), por ello en los sistemas donde puede ocurrir una sobresaturación de nutrientes, es esencial una estrategia de manejo adecuado para recuperar los nutrientes del estiércol antes de la aplicación (Rayne y Aula, 2020).

Tabla 2. Valor de sostenibilidad en la dimensión ecológica en las UPP ovina del municipio de Ixmiquilpan, estado Hidalgo, México.

Componente	Indicadores	Valor	
		UPP*	Máximo
Diversidad	Razas y origen de los animales	9.1	12.5
Transmisibilidad	Capacidad de persistencia y sucesión	7.9	12.5
	Aprovechamiento de recursos locales	9.5	12.5
Organización del espacio	Espacio per cápita	8.2	12.5
	Manejo de materia orgánica	11.3	12.5
Salud del hato	Comportamiento del rebaño	7.2	12.5
	Aspecto del rebaño	7.2	12.5
	Alimentación y sanidad	9.5	12.5
Total		70	100

Nota: Valor de sostenibilidad para los indicadores: 0, 4, 8 y 12.5; *: Valor promedio obtenido en las UPP.

Fuente: Elaboración propia.

Con respecto al valor obtenido en el indicador de *aprovechamiento de recursos locales* (9.5) es benéfico como lo señalaron Muller *et al.* (2017); ya que en los sistemas de bajos insumos basados en el pastoreo y la utilización de los recursos naturales locales como es el caso de las UPP de este estudio los hace menos vulnerables a la volatilidad y al aumento de los precios de los alimentos y combustibles. Lo anterior puede proporcionar la posibilidad de aumentar los márgenes económicos si los costos se mantienen estables y los precios de la carne aumentan.

El uso sostenible de los recursos forrajeros permite que los sistemas ganaderos sean rentables a largo plazo, que se gestionen adecuadamente los recursos naturales y se

mantenga una buena calidad de vida para los agricultores, ganaderos y sus comunidades (Teague, 2018). Sin embargo, generalmente no se optimiza el empleo eficiente del forraje para extender la temporada de pastoreo o mejorar la sostenibilidad de los sistemas pecuarios basados en pastoreo. Por lo tanto, en la zona de estudio, las prácticas agropecuarias se deberán vigilar para que el ecosistema no sea transgredido con deforestación, pastoreo excesivo y degradación de los pastizales. La presión antropogénica es un aspecto relevante para considerar debido a la ubicación geográfica de las UPP estudiadas, ya que el cambio de uso de suelo y el desplazamiento de las formas de vida de una comunidad dan lugar a una pobreza

generalizada y una ruptura social (Stoll-Kleemann y O’Riordan, 2015).

El desarrollo agropecuario es sostenible cuando beneficia a los individuos, ya que sus medios de vida dependen de la adquisición de los recursos y bienes que este sector les suministre. Además, de su participación en los mercados y su integración en la cadena de valor. Considerando lo anterior, en este

estudio las UPP en la dimensión económica en el componente *viabilidad económica* en el indicador *canales de comercialización* cumple parcialmente con esta condición, ya que presentó un valor bajo (*tabla 3*). En términos generales, los indicadores de la dimensión económica presentaron valores menores.

Tabla 3. Valor de sostenibilidad en la dimensión económica en las UPP ovina del municipio de Ixmiquilpan, estado Hidalgo, México.

Componente	Indicadores	Valor	
		UPP*	Máximo
Viabilidad Económica	Autosuficiencia ^a	10.8	15
	Canales de comercialización ^a	10.2	15
Eficiencia de proceso productivo	Flujo ^a	4.8	15
	Flujo económico/rebaño ^a	10.3	15
	Flujo económico/estacional ^a	3.8	15
	Flujo económico/anual ^b	7.1	25
Total		47	100

Nota: Valor de sostenibilidad para los indicadores: 0, 4, 8 y 12.5; ^a: Ponderación del indicador con un coeficiente 1.2; ^b: Ponderación del indicador con un coeficiente 2; *: Valor promedio obtenido en las UPP.

Fuente: Elaboración propia.

Con el grado de sostenibilidad de las tres dimensiones se infiere que estas UPP se mantienen económicamente y las actividades relacionadas con el proceso productivo, de manera consciente o no, minimizan el deterioro ecológico. Los resultados de este estudio se relacionan con lo reportado por Leyva *et al.* (2021) quienes mencionan que la sostenibilidad agrícola depende de relaciones complejas entre los aspectos ecológicos, económicos y sociales, especialmente con los pequeños agricultores de las comunidades indígenas en dos municipios del estado Hidalgo en México; entre ellos Ixmiquilpan.

CONCLUSIONES

Las UPP son sostenibles ecológicamente, debido a que los sistemas del estudio están enmarcados en los límites de las reglas ecológicas, lo cual se pudo determinar mediante el uso de indicadores, como los propuestos en este trabajo. Con relación a la dimensión económica los componentes débiles podrán fortalecerse o modificarse para optimizarse en términos de la sostenibilidad. Las UPP que predominan en el municipio de Ixmiquilpan, estado Hidalgo son sostenibles ya que contribuyen en la economía regional, influyen en lo social y se presentan cohabitando de una forma mesurada con su

entorno natural. Por ello son relevantes los estudios de sostenibilidad para promover la viabilidad de los sistemas de producción a largo plazo necesaria desde un punto de vis-

ta amplio; porque, aunque son deficientes en términos económicos, tienen una contribución importante a las zonas rurales y a la sociedad en general.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albarracín-Zaidiza, J. A., Fonseca-Carreño, N. E. y López-Vargas, L. H. (2019). Las prácticas agroecológicas como contribución a la sustentabilidad de los agroecosistemas. Caso provincia del Sumapaz. *Ciencia y Agricultura*, 16(2), 39-55. <https://bit.ly/3Hgg2Ac>
- Altieri, M. A., Nicholls, C. I., Montalba, R. (2017). Technological approaches to sustainable agriculture at a crossroads: an agroecological perspective. *Sustainability*, 9(3), 349. <https://doi.org/10.3390/su9030349>
- Caroprese, M., Albenzio, M. y Sevi, A. (2015). Sustainability of Sheep and Goat Production Systems. En A. Vastola (Ed.), *The Sustainability of Agro-Food and Natural Resource Systems in the Mediterranean Basin* (pp. 65-75). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-16357-4_6
- Cruz, J., Villegas, Y., Jerez, M. P., Pérez, M. I. y Castañeda, E. (2013). Evaluación ecológica de tres agroecosistemas de producción ovina en los Valles Centrales de Oaxaca. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, (6), 1251-1261. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i6.1288>
- Geng, Y., Cao, G., Wang, L., Wang, S. (2019). Effects of equal chemical fertilizer substitutions with organic manure on yield, dry matter, and nitrogen uptake of spring maize and soil nitrogen distribution. *PloS One*, 14(7), e0219512. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0219512>
- Guo, L., Qu, Y., Wu, Ch. y Gui, S. (2018). Evaluating green growth practices: empirical evidence from China. *Sustainable Development*, 26(3), 302-319. <https://doi.org/10.1002/sd.1716>
- Leyva, D., Torre, M. y Coronado, Y. (2021). Sustainability of the agricultural systems of indigenous people in Hidalgo, Mexico. *Sustainability*, 13(14), 8075. <https://bit.ly/3Oatw2J>
- Liu, Q., Wang, J., Bai, Z., Ma, L. y Oenema, O (2017) Global animal production and nitrogen and phosphorus flows. *Soil Research*, 55(6), 451-462. <https://doi.org/10.1071/SR17031>
- Losada, H., Cortés, J., Rivera, J., Vieyra, J., Castillo, A. y González, R. (2009). Evaluación de la sustentabilidad de sistemas de engorda de ganado de carne de pequeña escala que contribuyen al abasto de la Ciudad de México. *Livestock Research for Rural Development*, 21(12), 209. <http://www.lrrd.org/lrrd21/12/losa21209.htm>
- Muller, A., Schader, C., Scialabba, N., Brüggemann, J., Isensee, A., Heinz, K., Smith, P., Klocke, P., Leiber, F., Stolze, M. y Niggli, U. (2017). Strategies for feeding the world more sustainably with organic agriculture. *Nature Communications*, 8(1), 1290. <https://go.nature.com/3xlhFbe>

- Ochoa, C., Molina, M. y Ortega, E. (2020). Inferencia estadística: estimación del tamaño muestral. *Evidencias en Pediatría*, 16(2), 1-6. <https://bit.ly/3trw2tk>
- Pinedo-Taco, R., Borjas-Ventura, R. R, Alvarado-Huamán, L., Castro-Cepero, V. P. y Julca-Otiniano, A. M. (2021). Sustentabilidad de los sistemas de producción agrícola: una revisión sistemática de las metodologías empleadas. Para su evaluación. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 24(1), 1-16. <https://bit.ly/3NFqkvQ>
- Pinedo-Taco, R., Gómez-Pando, L. y Julca-Otiniano, A. (2018). Sostenibilidad de sistemas de producción de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 5(15), 399-409. <https://doi.org/10.19136/era.a5n15.1734>
- Rayne, N. y Aula, L. (2020). Livestock manure and the impacts on soil health: a review. *Soil Systems*, 4(4), 64. <https://doi.org/10.3390/soilsystems4040064>
- Sánchez-Rodríguez, G. y Anzola-Morales, O. (2021). Desarrollo y sostenibilidad: una discusión vigente en el sector turístico. *Letras Verdes. Letras Verdes. Revista Latinoamericana de Estudios Socioambientales*, (29), 29-47. <https://bit.ly/3O3HSl7>
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2021). Ovino. Población ganadera 2011-2020. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. <https://bit.ly/3twYBFJ>
- Stoll-Kleemann, S. y O’Riordan, T. (2015). The Sustainability challenges of our meat and dairy diets. *Environment: Science and Policy for Sustainable Development*, 57(3), 34-48. <https://doi.org/10.1080/00139157.2015.1025644>
- Teague, W. R. (2018). Forages and pastures symposium: cover crops in livestock production: whole-system approach: Managing grazing to restore soil health and farm livelihoods. *Journal of animal science*, 96(4), 1519-1530. <https://doi.org/10.1093/jas/skx060>
- Tonolli, A. J. y Ferrer, C. S. (2018). Comparación de marcos de evaluación de agroecosistemas. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 21(3), 487-504. <https://bit.ly/3H73kDK>
- Zarta, P. (2018). La sustentabilidad o sostenibilidad: un concepto poderoso para la humanidad. *Tabula Rasa*, (28), 409-423. <https://doi.org/10.25058/20112742.n28.18>

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a los productores y a los representantes locales del Municipio de Ixmiquilpan, Hidalgo, México por la aportación de la información y la disponibilidad en el acompañamiento del trabajo en campo.



Posibilidades de desarrollo de la infraestructura vial en el archipiélago Sabana-Camagüey

Proposal for the development of road infrastructure in the Sabana-Camagüey archipelago

Proposta de desenvolvimento de infraestrutura rodoviária no arquipélago Sabana-Camagüey

Juan Pablo Cabrera Díaz / University of Electronic Science and Technology of China, China-Universidad de La Habana, Cuba
/ juampigeo33@gmail.com

Dunia Cabrera Díaz / Universidad de Pinar del Río, Cuba / duniacabrera69@gmail.com

Recibido: 20/12/2021

Aceptado: 31/10/2022

Publicado: 24/11/2022

RESUMEN

En el archipiélago Sabana-Camagüey, al norte de Cuba, se ha propuesto aumentar la actividad turística. Sin embargo, la infraestructura de transporte de esta región parece insuficiente para soportar este cambio. Por sus características geográficas esta zona es muy vulnerable a la incidencia directa de huracanes, frentes fríos y otros fenómenos naturales, que atentan contra la conectividad y el buen estado de los viales. El objetivo de este trabajo fue desarrollar una propuesta que permita establecer una conexión entre los principales polos turísticos de esa región. Durante las diferentes etapas de investigación se analizaron los intensos flujos pendulares diarios de trabajadores y la transportación de cargas, materiales y equipos de la construcción. Se analizó además la incidencia de fenómenos de origen natural, como ciclones y frentes fríos, sobre las estructuras ya existentes, tanto en los cayos como conectando los mismos. Se obtuvo como resultado tres variantes de un posible sistema de infraestructura vial que favorezca la vinculación entre los diferentes polos turísticos de la cayería norte de Cuba, basadas en sistemas multimodales de transportación que permitan disminuir la vulnerabilidad de la zona, mejorar la conectividad y favorecer el mantenimiento de la infraestructura de transporte existente.

Palabras clave: conectividad, gestión de recursos naturales, pedraplenes, transporte multimodal

ABSTRACT

In the Sabana-Camagüey archipelago, to the north of Cuba, it has been proposed to increase tourist activity. However, the transport infrastructure of this region seems insufficient to support this change. Due to its geographical characteristics, this area is very vulnerable to the direct incidence of hurricanes, cold fronts, and other natural phenomena, which threaten connectivity and the good condition of the roads. The objective of this work was to develop a proposal that allows establishing a connection between the main tourist poles of that region. During the different stages of the investigation, the intense daily pendular flows of workers and the transport of loads, materials and construction equipment were analyzed. The incidence of natural phenomena, such as cyclones and cold fronts, on existing structures, both in the keys and connecting them, was also analyzed. As a result, three variants of a possible road infrastructure system were obtained that favor the link between the different tourist poles of the northern keys of Cuba, based on multimodal transport systems that can reduce the vulnerability of the area, improve connectivity, and favor the maintenance of the existing transport infrastructure.

Keywords: causeways, connectivity, multimodal transport, natural resource management

RESUMO

No arquipélago de Sabana-Camagüey, ao norte de Cuba, foi proposto aumentar a atividade turística. No entanto, a infraestrutura de transportes desta região parece insuficiente para suportar esta mudança. Devido às suas características geográficas, esta área é muito vulnerável à incidência direta de furacões, frentes frias e outros fenômenos naturais, que ameaçam a conectividade e o bom estado das estradas. O objetivo deste trabalho foi desenvolver uma proposta que permita estabelecer uma ligação entre os principais polos turísticos daquela região. Durante as diferentes etapas da investigação, foram analisados os intensos fluxos pendulares diários de trabalhadores e o transporte de cargas, materiais e equipamentos de construção. Também foi analisada a incidência de fenômenos naturais, como ciclones e frentes frias, nas estruturas existentes, tanto nas chaves quanto nas conexões. Como resultado, foram obtidas três variantes de um possível sistema de infraestrutura viária que favorece a ligação entre os diferentes polos turísticos das chaves do norte de Cuba, baseado em sistemas de transporte multimodal que podem reduzir a vulnerabilidade da área, melhorar a conectividade e favorecer a manutenção da infraestrutura de transporte existente.

Palavras chave: calçadas, conectividade, gestão de recursos naturais, transporte multimodal

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, una de las principales fuentes de ingreso de divisas para Cuba lo constituye la actividad turística, la cual presenta además grandes perspectivas de desarrollo futuro, motivo por el cual el estado cubano ha decidido potenciar su consolidación. Además de los valores históricos, culturales y sociales para el turismo, desde el punto de vista físico-geográfico, también existen en el país muchas regiones de alto valor natural y paisajístico, altamente valoradas por los visitantes. Por ello, los planes de desarrollo no se reducen únicamente a los polos tradicionales, sino también a otras zonas de indudable potencial turístico. Una de ellas, es la extensa cayería ubicada al norte de la isla de Cuba, entre las penínsulas de Hicacos y Sabinal, ubicadas en las provincias de Matanzas y Camagüey respectivamente, y que corresponden al grupo de cayos e islotes denominado Archipiélago Sabana-Camagüey.

Una de las características geomorfológicas principales de este archipiélago es que no se encuentra unido a la isla de Cuba de forma natural, por lo que, para el logro de esta vinculación, fue necesario la construcción de un pedraplén de 17 km, que une a Cayo Coco; el más grande e importante del área por su ubicación, extensión y atractivos naturales; con la región de Turiguanó, ubicada al norte de la provincia Ciego de Ávila. La otra posibilidad de conexión con este archipiélago es la que une exclusivamente a Cayo Santa María, a través de un pedraplén de 48 km con la localidad de Caibarién, en la provincia Villa Clara. Este fue construido entre 1989 y 1999. En la actualidad está en fase de

construcción un tercer pedraplén que unirá Playa Jigüey con Cayo Cruz, ambos extremos pertenecientes a la provincia de Camagüey (Barrio *et al.*, 2020). Las dos primeras vías, a pesar de haber sido concebidas inicialmente solo para el tránsito de vehículos turísticos ligeros, a la larga se han convertido en la única forma para el acceso a la cayería de todo tipo de vehículos.

Esto, a su vez, ocasiona un acelerado proceso de deterioro, particularmente de sus puentes, que los hace más vulnerables a los efectos de cualquier evento meteorológico de envergadura. Debe tenerse en cuenta que, además de los vehículos de transporte de trabajadores del turismo y constructores, en las condiciones actuales circulan por ellos rastras con contenedores, silos de cemento, equipos de combustibles, medios pesados de construcción, transportadores de materiales y otros, para los que dichos viales no fueron diseñados. Como consecuencias directas ya se han producido colisiones de vehículos pesados debido a su estrechez, así como accidentes de diverso tipo, debido a las precarias condiciones de seguridad vial existentes.

Además, se constataron algunas afectaciones ambientales alrededor de estos viales, como cambios en la salinidad del agua, eutrofización, procesos de erosión, suspensión y acumulación de sedimentos. También se registraron diferencias en las rutas de desove y de dispersión de larvas, cambios del régimen hidrodinámico y aumento de la turbiedad de las aguas (Quirós y Machado,

2013). Estos problemas fueron abordados por varios autores en diferentes regiones del planeta, como consecuencia de incorrectos procesos constructivos, la incidencia de algún otro fenómeno o simplemente el decursar del tiempo. Por su parte Vickery (2021) describió los efectos en la dinámica poblacional del zooplancton en la bahía *Fort DeSoto* en Tampa, Estados Unidos. Por su parte, Athar *et al.* (2022) estudió las consecuencias provocadas por la deformación en las curvaturas de socavación y deposición en los pedraplenes en el caso particular de la India; mientras que los problemas ambientales del pedraplén sobre el equilibrio hídrico y salino del lago de Urmía, en Irán, fue investigado por Hemmati *et al.* (2021). Mientras que Gerwing *et al.* (2019) analizaron la respuesta positiva de peces y química del agua a la abertura del pedraplén con un puente en el estuario del río Kaouk en British Columbia, Canadá; estos son algunos de los estudios consultados como parte de la presente investigación.

Con el paso del huracán Irma por territorio cubano en septiembre de 2017, se inició un intenso proceso de recuperación que abarcó los territorios del archipiélago Sabana-Camagüey, que habían quedado devastados. Para ese entonces la conexión con las islas fue casi imposible debido a los estragos causados por el fenómeno en ambas vías de acceso, aspecto que dificultó y retrasó las acciones recuperativas, empleándose en muchos casos y con toda urgencia, la variante marítima de transportación (Benedico-Rodríguez, 2017).

La necesidad imperiosa de soluciones a dicha situación resulta evidente. Una vía de acceso, en mejores condiciones constructivas, permitiría disminuir las dificultades en los principales polos turísticos de la región, si de conectividad se trata. Debe tenerse en cuenta también que, al concluir el año 2017, muchas de las inversiones que se aprobaron en el sector del turismo se encontraban en ejecución, por lo que la situación de necesidad de movilidad y conexión con Cuba ha sido cada vez más crítica. Este aspecto debe agravarse a medida que los proyectos pasen a fases futuras de ejecución.

Por lo que el objetivo de la investigación es desarrollar una propuesta que permita establecer una conexión entre los principales polos turísticos del archipiélago Sabana-Camagüey. El posible vínculo entre Cayo Santa María y Cayo Coco, pasando por Cayo Guillermo, puede ser una alternativa viable para hacer frente a los problemas de conectividad que presenta el archipiélago con la isla grande en la actualidad. Además, se favorecería la movilidad a través de un sistema multimodal de transporte, teniendo en cuenta la existencia de los aeropuertos de Cayo Las Brujas y Cayo Coco.

La mayoría de las teorías socio-ecológicas se centran en la interconexión y dependencia entre los seres humanos, los ecosistemas y su naturaleza simbiótica. Sin embargo, estas dos dimensiones de resiliencia socioecológica están en competencia entre sí (Vallejo *et al.*, 2022). Las alternativas propuestas aparentemente pueden mejorar la preparación ante desastres y fomentar el desarrollo económico, pero también pueden tener un

impacto importante desde el punto de vista ambiental, paisajístico y ecológico, pues la zona de los cayos presenta una elevada fragilidad e inestabilidad desde estos enfoques. Es por ello por lo que, además de favorecer el acceso y mejorar la conectividad entre las islas, se debe analizar también como salvaguardar y proteger los valores naturales que allí se encuentran. La finalidad de estas alternativas debe enfocarse a la sostenibilidad y sustentabilidad de los recursos. En tal sentido, dada la situación económica actual de Cuba y la dificultad desde el punto de vista tecnológico que genera un proyecto de este tipo, puede valorarse el acceso a la cooperación internacional que favorezca la realización de alguna de estas propuestas por etapas.

MATERIALES Y MÉTODOS

El proceso investigativo fue dividido en tres etapas. La primera fue una fase preparatoria, donde se consultaron diferentes fuentes bibliográficas y estadísticas, que facilitaron establecer el marco teórico-conceptual y conocer los antecedentes que sobre el tema existían. La información obtenida fue procesada con programas estadísticos y sistemas de información geográfica. Además, fue posible hacer un reconocimiento integral del área de estudio, incorporando elementos naturales y sociales de interés.

Como parte de la segunda etapa se utilizaron varios métodos directos de obtención de información mediante visitas a entidades operadoras y entrevistas a sus directivos, funcionarios y especialistas; definiéndose así la realidad de las condiciones existentes. Mediante la obser-

vación directa del terreno se pudieron corroborar y actualizar datos obtenidos en fuentes bibliográficas anteriores y confirmar las características del oleaje y las mareas del área, obtenidas por simulaciones o estudios de otros autores.

Durante la última etapa se definieron las características del sistema de transporte actual y fundamentalmente sus vulnerabilidades. Teniendo en cuenta los datos analizados se propusieron tres variantes como posibles soluciones para desarrollar un sistema de transporte multimodal que favorezca el desarrollo del área de estudio, posibilite el crecimiento de la actividad turística y disminuya las vulnerabilidades. La primera de estas variantes tiene como base el vínculo marítimo entre la isla de Cuba y los cayos. La segunda propone la creación de un pedraplén entre Cayo Santa María y Cayo Guillermo y la tercera plantea la conexión de estos dos cayos mediante un viaducto. Por otro lado, se determinan algunos impactos, desde el punto de vista ecológico, paisajístico y ambiental, consecuencia de la implementación de alguna de estas variantes. Entre ellos resaltan la pérdida de la diversidad biológica, el cambio en los flujos de agua en la Bahía de Perros y la llegada de especies invasoras.

A través del método estadístico-matemático fue posible el análisis mediante programas estadísticos y de organización y control de datos. Para ello se utilizó *Statgraphics Centurion (Versión 19.1.2)*, logrando evaluar la frecuencia de ocurrencia de mareas, frentes fríos y huracanes. Además, para las bases de datos se usaron los programas *Microsoft Excell* y *Access* para determinar el flujo de trabajadores

y turistas, así como la proyección de la cantidad y frecuencia de los viajes para transportar a estos. Usando los métodos comparativos se determinaron las principales diferencias en cuanto a las posibilidades de varias áreas para fomentar el desarrollo del sistema de transporte multimodal.

El método histórico-evolutivo sirvió de base para determinar los cambios registrados en el territorio e incorporar ideas acerca de cómo reducir las vulnerabilidades identificadas. El método cartográfico fue muy importante en las diferentes fases de la investigación. Se emplearon varias cartas náuticas que permitieron obtener datos como: profundidad de las aguas del tramo Cayo Santa María-Cayo Guillermo-Cayo Coco, permitiendo de esa forma la determinación de las condiciones físico-geográficas. Además, el uso de herramientas asociadas a las funcionalidades de los sistemas de información geográfica jugó un papel fundamental en la conformación de las propuestas de sistemas de transporte multimodal. Para ello se realizaron varias modelaciones de flujos de agua por corrientes y mareas, se digitalizaron los mapas de batimetría y se determinaron las áreas más favorables para la creación de infraestructuras asociadas a las tres variantes propuestas a través de *ArcGIS (Versión 10.4.1)*.

Finalmente se analiza, según los datos obtenidos previamente, cuáles serían las principales

vulnerabilidades y los riesgos que, como consecuencia del desarrollo de alguna de las variantes propuestas, se pudieran presentar en el área de estudio.

La creación y ejecución final de cualquiera de las variantes propuestas debe responder a cuestiones de factibilidad económica, constructiva y ambiental, por lo cual estos aspectos deberían argumentarse adecuadamente en tanto son indispensables para la toma de decisiones correctas de organización y gestión.

Características del área de estudio

El Archipiélago Sabana-Camagüey, con un área de 7500 km², se extiende al norte de las provincias de Matanzas, Villa Clara, Sancti Spíritus, Ciego de Ávila y Camagüey, y constituye el de mayor agrupación de islas, cayos y cayuelos de Cuba con 2517 (Rocamora *et al.*, 2000).

En el área hay construidos hasta la fecha tres pedraplenes, para garantizar el desarrollo turístico de algunos de sus cayos. El área de interés limita al oeste con la bahía de Buena Vista, al este con Cayo Sabinal y por el sur con la franja costera que abarca las provincias Villa Clara, Santi Spíritus, Ciego de Ávila y Camagüey; mientras que al norte la demarca el talud insular constituido por una especie de flexura con pendiente abrupta, que representa el límite entre la depresión profunda y la plataforma marina insular de Cuba (*figura 1*).

Figura 1. Localización del área de estudio.



Autor: Juan Pablo Cabrera
Año: 2019

Fuente: Elaborada por los autores.

En todo este territorio, según González (2006), la estructura espacial del ambiente muestra una variedad de rasgos de vulnerabilidad que se resumen en los siguientes:

1. Simplicidad de estructura geográfica con pocos territorios emergidos.
2. Las zonas emergidas no tienen gran elevación en relación con el nivel del mar.
3. Morfología y perfiles de playa de alta complejidad dinámica.
4. Alta fragilidad geomorfológica, geológica y ante fenómenos meteorológicos.
5. Alta salinidad del sustrato de suelo.
6. Deficiente control de escorrentía pluvial.
7. Fuerte intrusión salina en los acuíferos.
8. Alta complejidad en labores de saneamiento.

Cabe resaltar la fragilidad de estos ecosistemas, unidades expuestas a numerosos peligros naturales, a los que se suman, por razón de sus atractivos paisajes, la presión demográfica promovida por el desarrollo del turismo, la más común y extendida práctica económica de estos territorios. De ahí la importancia de promover a toda costa, la protección y cuidado del medio natural (Rocamora *et al.*, 2000).

Factores para considerar en el desarrollo de la transportación multimodal que amplíe la infraestructura vial en el Archipiélago Sabana-Camagüey

Acuatorios y corrientes marinas

Luego de construidos los pedraplenes, cambiaron diversos aspectos del esquema de circulación general del archipiélago. Con la terminación del pedraplén a Cayo Coco, el sis-

tema de circulación natural de las aguas de la Bahía de Perros varió. Las corrientes resultan aquí muy intensas, con valores promedios del orden de los 50-60 cm/s y máximos cercanos a los 150 cm/s, o sea, que prácticamente se ha triplicado la intensidad del movimiento en el área central de la bahía (Ventura, 2008).

Régimen de mareas

De manera general, en el área la marea es del tipo sinódico, o sea, que depende fundamentalmente de las fases de la Luna y varía en amplitud durante todo el ciclo lunar. En el caso de la zona interior, en la Bahía de Perros, Rodríguez (2008) y Ventura (2008) clasifican las mareas de la siguiente manera:

- Marea semidiurna: se observa en todo el borde exterior de la plataforma de la parte central del archipiélago y al oeste de la Bahía San Juan de los Remedios.
- Marea semidiurna irregular: es común para todo el borde de la plataforma de los extremos occidental y oriental del archipiélago. En el interior de las bahías este tipo de marea se detectó al este de las bahías San Juan de los Remedios y Buenavista.
- Marea con gran influencia meteorológica: es propia de las bahías del este del archipiélago (Perros, Jigüey y La Gloria), cuyas aguas presentan una escasa comunicación.

Sobre la base de datos de marea y corrientes, medidos en diferentes localidades que se encuentran en las bahías, se analizaron los efectos de los pedraplenes existentes actualmente. Según Fernández (2008), estas son las principales modificaciones:

- Una variación en la amplitud y el retardo de la marea al sur de Cayo Santa María y Las Brujas. En los puentes y alcantarillas construidos las velocidades de las corrientes son superiores a los 100 cm/s.
- En la Bahía de Perros, antes de construirse el pedraplén, las mediciones de corrientes detectaron pulsaciones de una marea con carácter semidiurno. Sin embargo, después de construido el pedraplén, la energía de la marea disminuyó en la zona y las corrientes dejaron de responder a las fuerzas de la marea.
- Producto del pedraplén construido, al sur de Cayo Coco quedaron zonas completamente aisladas donde las variaciones del nivel responden totalmente a factores hidrometeorológicos, como las precipitaciones. Se observó una marcada diferencia de nivel al este y oeste del pedraplén.

En el caso de la zona externa de los cayos, frente al Canal Viejo de las Bahamas, Rodríguez (2015) y Zúñiga (2016) explican lo siguiente:

A lo largo de todo el borde exterior central de la plataforma del Archipiélago Sabana-Camagüey, fundamentalmente el área comprendida entre el Canal de San Nicolás y el Canal Viejo de las Bahamas, el carácter de las mareas es semidiurno regular. Las amplitudes máximas medias oscilan alrededor de los 0.51 metros.

La principal componente de las mareas en la zona norte de los cayos es la *principal lunar semidiurna*, con una amplitud de 0.29 metros y una fase de 130.63 grados. Esta componen-

te explica el 60% de las variaciones del nivel del mar. Se encuentra además una componente *larga lunar elíptica* y una *principal solar diurna*, que explican el 15% de los datos del nivel del mar cada una. Los mayores valores de amplitud de marea ocurren durante el período de sicigia (luna nueva-luna llena), originando amplitudes máximas promedio de 74 cm, mientras que los menores suceden durante los

períodos de cuadratura (cuarto creciente y menguante), con amplitudes mínimas de 38 cm.

Los ciclones tropicales

En Cuba, las provincias centrales han sido afectadas mayormente por huracanes de poca intensidad, siendo los meses de octubre y septiembre los más peligrosos (Córdova-García *et al.*, 2018).

Tabla 1. Cantidad de veces que las provincias centrales han sido afectadas por huracanes según su intensidad en el período 1785-2017.

Intensidad	Villa Clara	Sancti Spíritus	Ciego de Ávila	Camagüey
Gran intensidad	6	3	3	4
Intensidad media	17	15	11	14
Poca intensidad	25	18	19	21

Fuente: Instituto de Meteorología (2019).

La incidencia de estos fenómenos establece condiciones temporales desfavorables para toda la cayería. El último caso registrado fue el huracán Irma en 2017, que trajo graves consecuencias para este territorio, debido a la forma de su trayectoria casi paralela a la costa norte de Cuba.

Luego del paso de Irma, la reparación de ambos pedraplenes costó más de 30 millones de pesos. Los daños fueron significativos, especialmente en el carril más oriental, que fue atacado directamente por los fuertes vientos y olas de altura superior a los tres metros. El proceso de recuperación incluyó el desbloqueo

total de puentes y alcantarillas, el movimiento de tierras, grandes rocas, piezas de hormigón y el dragado de varias zonas. El cambio de la morfología del paisaje tras el fenómeno meteorológico dificultó el trabajo de recuperación, siendo necesaria la realización de nuevas cartas náuticas en diferentes áreas (Franquiz, 2017; Benedico-Rodriguez, 2017).

Los sistemas frontales

Los frentes fríos, que revisten mayor importancia por la alta frecuencia con que penetran en esta zona, ocurren durante el período de octubre a mayo.

Tabla 2. *Intensidad de los frentes fríos que han azotado la región central de Cuba en el período 1975-2017.*

Total	Débiles	Moderados	Fuertes
612	511	85	16

Fuente: Instituto de Meteorología (2019).

La principal característica de los frentes fríos es el giro de los vientos que provienen del norte, el descenso de la temperatura del aire y la ocurrencia de chubascos y lluvias a intervalos. En algunos casos esta actividad se incrementa notablemente y tales frentes fríos pueden entonces estar acompañados de tormentas severas, tornados y vientos muy fuertes. El giro de los vientos al norte y el aumento de su velocidad condiciona un cambio significativo del estado del mar en la costa norte, a medida que el frente se desplaza de oeste a este. Generalmente, se arbola una fuerte marejada, con olas de entre 3 y 4 m de altura (Lecha, 1998).

Durante los períodos invernales son muy usuales los procesos de reparación y limpieza de los pedraplenes, debido a la incidencia de los frentes fríos. En este caso, y contrario a lo que sucede generalmente con los ciclones tropicales, es el carril occidental el que más sufre los embates del oleaje y de los sedimentos arrastrados por los vientos. En varias ocasiones se han bloqueado puentes y alcantarillas y los procesos erosivos y de arrastre del material rocoso que conforma estos viales se intensifica.

Transportación de turistas, trabajadores, equipos y cargas

La transportación de los turistas hacia o desde los diferentes destinos turísticos se realiza por vía aérea a través de diversas aerolíneas internacionales que utilizan los aeropuertos

de Cayo Coco y Cayo Las Brujas. Internamente, solo hay comunicación entre Cayo Las Brujas y Cayo Santa María en la parte occidental y entre los cayos: Coco, Guillermo, Romano y Cruz, en la porción oriental del archipiélago. Por lo tanto, para moverse entre los dos principales destinos (Cayo Santa María y Cayo Coco) hay que hacerlo por vía aérea, o realizar un largo recorrido a través de la isla de Cuba. Aunque la principal modalidad de turismo en toda la zona es la de sol y playa, también existen otras potencialidades naturales y culturales en favor de los usuarios mediante excursiones o servicios extrahoteleros fuera del polo turístico donde se pernocta. Con este fin se utilizan autos rentados u ómnibus pequeños que no se consideran causantes de afectaciones al sistema de transporte actual.

Para el área analizada está previsto un gran desarrollo hotelero; se estima que para 2025 estarán en explotación 32 505 habitaciones en esa zona. Si se considera por normas propias del turismo que por cada una de ellas deben existir 1.2 trabajadores, para ese año 39 006 trabajadores estarían prestando sus servicios. Debe destacarse el hecho de que este grupo no pernocta cerca de sus respectivas áreas de trabajo, sino que viaja diariamente desde y hasta su residencia, lo cual hace más complejo el proceso de transportación. Este se traduce en más de 850 viajes diarios de ida y regreso de ómnibus de gran tamaño (45 pasajeros por

ómnibus). Esto representa un uso excesivo del sistema vial existente, afectándolo de forma directa, pues el mismo fue construido para el acceso de vehículos ligeros fundamentalmente.

La mano de obra calificada que requieren las actuales inversiones en ejecución incorpora un número variable de trabajadores que oscila alrededor de los 46 500. Los constructores están divididos en dos grupos: aquellos que proceden de las provincias más distantes del país, que pernoctan permanentemente en los campamentos creados para su estancia, y los que provienen de las provincias que forman parte del área objeto de estudio; estos últimos viajan diariamente desde y hasta su residencia, lo que representa unos 740 viajes diarios en ómnibus de gran tamaño (45 pasajeros por ómnibus). Además de la incidencia negativa de la transportación por ómnibus de los trabajadores, se debe resaltar el traslado de cargas y equipos de la construcción con un peso significativo a través de los pedraplenes. La transportación de pesados bloques de hormigón, silos de cemento, materiales de relleno y otros, ha generado baches, grietas y desniveles en puentes, alcantarillas y pasos a nivel. Este proceso degenerativo del sistema vial existente se acentúa debido a la reiteración y aumento de la frecuencia de estos viajes.

De esta forma, se ha podido constatar que existe una sobreexplotación de los pedraplenes de este territorio, debido al exceso de peso de los medios que circulan y a la cantidad excesiva de viajes que se realizan a través de estos. Al no existir otra posibilidad para mover las cargas, constructores y trabajadores del turismo, los viales se encuentran en un franco proceso de sobreutilización, que dificulta las reparaciones y mantenimientos.

La implementación de un sistema de transportación multimodal para el movimiento (desde, hacia y en la cayería) de los constructores, trabajadores del turismo y los turistas, significa una nueva concepción del sistema que actualmente está en funcionamiento. Este nuevo sistema deberá basarse en las siguientes premisas:

- Crecimiento operativo de los aeropuertos de Cayo Coco y Cayo Las Brujas, para fomentar el número de pasajeros que pudieran acceder por esta vía, teniendo en consideración la ampliación de la cantidad de vuelos con el aumento del desarrollo turístico en la zona.
- Minucioso análisis ambiental y geológico que determine los problemas e impactos que generará la implementación de esta propuesta, presentando medidas para su mitigación.
- Evaluación espacio temporal de las condiciones del medio natural con el objetivo de mantener y rescatar los valores tanto terrestres como marinos del territorio.
- Analizar las distintas posibilidades de conexión entre Cayo Santa María y Cayo Guillermo. Una de las variantes posibles es la construcción de un pedraplén utilizando como trampolín al arco de cayos e islas que se encuentra entre ellos.
- Crear o mejorar la señalización de los diferentes tramos viales.
- Disminución de la sobreexplotación de los viales existentes y mejores opciones para el mantenimiento de estos, al encontrar una nueva posibilidad del cierre total de alguna de estas vías de comunicación.

El principal elemento para establecer este nuevo sistema es la creación de una variante de transporte que permita la unión entre Cayo Coco y Cayo Santa María. Las opciones de conexión entre ambos istmos tienen como centro la vinculación vial que existe entre Cayo Coco y Cayo Guillermo, que se construyó en sentido latitudinal y favorece la movilidad entre estos dos últimos territorios.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

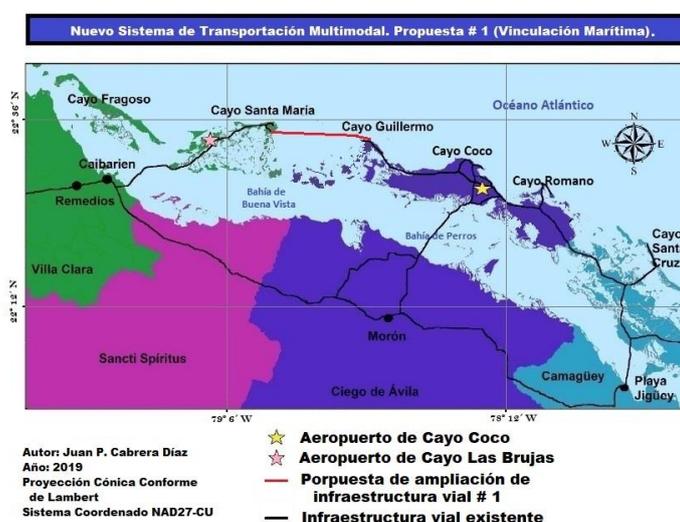
Propuestas para un nuevo sistema de transportación multimodal en el archipiélago Sabana-Camagüey

La primera variante es crear una vinculación marítima entre Cayo Santa María y Cayo Guillermo (figura 2). Esta opción es factible para la movilidad de personas, pero el tema de la transportación de cargas, combustibles y vehículos pesados, que se utilizan en la construcción, queda un poco al margen por dos factores importantes. El primero es que esta opción no incluye conectividad marítima con la isla de Cuba (la cual pudiera agregarse, agravando en-

tonces el impacto del segundo factor), por lo que se seguirían usando los pedraplenes para el acceso a ambos cayos. En segundo lugar, la poca profundidad de la Bahía de Perros y de la plataforma insular donde se encuentran ambos istmos impide la circulación de embarcaciones con un calado considerable como para transportar este tipo de cargas pesadas.

Pudieran usarse el extremo oriental del pedraplén de Cayo Santa María y la porción más oriental de playa Pilar en Cayo Guillermo como puntos de atraque, teniendo que crear condiciones para ello en ambos litorales. Entre ambos puntos existe una distancia aproximada de 29 km, por lo que una embarcación pudiera realizar más de un viaje diariamente, favoreciendo la disponibilidad y viabilidad del servicio. La variabilidad del fondo marino en las costas de ambos cayos, debido a la incidencia de los fenómenos meteorológicos antes mencionados, determina que se realicen con frecuencia estudios afines y el consecuente movimiento de sedimentos en casos necesarios, para asegurar el acceso de las embarcaciones.

Figura 2. Nuevo Sistema de Transporte Multimodal. Propuesta # 1 (Vinculación Marítima).



Fuente: Elaborada por los autores.

Es importante resaltar además la necesidad de adquirir los medios (embarcaciones) necesarios para el establecimiento de este servicio. Este aspecto encarece sobremanera la posible aplicación de esta opción, siendo aún mayor el presupuesto a utilizar si se analizara la variante de incorporar otro puerto en la isla de Cuba.

La segunda variante analizada consiste en crear un pedraplén que una a Cayo Guillermo y el grupo de islas, islotes y cayuelos que están al sur de este, con la porción oriental de Cayo Santa María (*figura 3*). Para dicha conexión, debe crearse un vial con una extensión aproximada de 55 km. El mismo permitiría la unión entre ambos destinos turísticos y el movimiento de turistas que arriben de forma aérea a los aeropuertos de Cayo Las Brujas y Cayo Coco, aprovechando así la creación de un sistema de transporte multimodal que opere en toda la zona.

Este pedraplén puede realizarse aprovechando una serie de islas que interconectan ambos cayos. Para ello, y partiendo desde el extremo oriental del pedraplén de Cayo Santa María, en un primer momento debe tomar un rumbo sur de aproximadamente 17 km, posteriormente otros 20 km con rumbo este-sureste y finalmente

deben incluirse 18 km hacia el noreste hasta llegar a la zona sur de Playa Pilar, en Cayo Guillermo. Las características constructivas deben cumplir con varias especificidades como las propuestas por Quirós y Machado (2013), especialmente las referidas a la circulación de las aguas por las corrientes marinas y las mareas. Estas tienen gran significación en el área debido a que la zona que se pretende cerrar con el vial es la principal vinculación de la Bahía de Perros con el Océano Atlántico.

Es importante destacar que esta variante permitiría cerrar completamente cualquiera de los viales de acceso a los cayos para su reparación total, facilitando también los procesos de mantenimiento. Otra cuestión de interés, además de la conexión entre ambos destinos, es la ampliación de la zona accesible para el desarrollo de la actividad turística, la cual pudiera aprovecharse dependiendo de sus potencialidades y del cuidado y la preservación que se proyecte sobre el medio natural, debido a la especial fragilidad de esta zona. Se presenta como la opción más viable teniendo en cuenta las condiciones económicas y tecnológicas actuales en Cuba.

A partir de las propuestas anteriores, el diseño del sistema de transportación multimodal previsto quedaría definido de la forma siguiente:

La creación de la nueva infraestructura permitiría el ingreso a todos los polos por cualquier vía, previendo, dentro de los procesos de gestión del sistema de transporte, el cierre parcial o total cada cierto tiempo de uno de los pedraplenes, con el objetivo de ejecutar los mantenimientos requeridos. Esto posibilitaría aumentar el tiempo de explotación de estas estructuras. Será necesario también ampliar la capacidad de gestión de los aeropuertos, convirtiendo a ambos en nodos de transporte, conectando los principales destinos del área. Además, se crearía la posibilidad, para los que entren a través de los pedraplenes, de alcanzar todos los destinos turísticos de estos polos sin necesidad de retornar a la isla grande, favoreciendo el ahorro de tiempo y combustible. Finalmente, se pueden programar excursiones y pasadías en autos u ómnibus desde y hacia cualquiera de los destinos de los cayos.

No obstante, no todos los impactos que podría generar la implementación de esta propuesta son positivos. En este caso se explican algunos procesos que pueden convertirse en aspectos negativos. Entre ellos están:

Los cambios de circulación de las aguas por la variación de las corrientes marinas en la Bahía de Perros, un gran espacio con poca profundidad que depende, en alto grado, del contacto con las aguas exteriores por el mismo espacio donde se construiría el nuevo vial. Este aspecto puede tener un paliativo en la inserción de varios puentes en el transepto, especialmente en las zonas donde existan corrientes de intercambio.

La vinculación a través de una vía en línea recta entre Cayo Santa María y Cayo Guillermo sería más factible para su construcción, sin embargo,

la misma quedaría en mar abierto, aumentando la vulnerabilidad del vial y propiciando su rápido deterioro. Su mantenimiento sería bastante costoso y la situación económica del país hace difícil su sostenibilidad en el tiempo.

Como se espera el crecimiento de la actividad turística en dicha zona, pudiera existir, en un futuro cercano a la implementación de esta propuesta, una sobreexplotación de este vial por la movilidad excesiva a través del mismo, aspecto que se debe monitorear constantemente. Se pueden generar afectaciones a la flora y la fauna que vive en las zonas que se conectarán, especialmente en los manglares y zonas de poca profundidad, debido a los cambios en la circulación del agua, el movimiento de sedimentos y materiales de relleno y la incidencia de los equipos de construcción.

Otro impacto a considerar es el generado por especies invasoras que se inserten en esos ecosistemas, pues la creación del pedraplén elimina barreras de movilidad para animales y plantas que pudieran ser un peligro potencial para el equilibrio ecológico del ecosistema. Esto pudiera generar cambios en las cadenas tróficas y favorecer la desaparición de especies más frágiles.

CONCLUSIONES

Los viales que hoy conectan a la cayería con la isla de Cuba presentan problemas, debido a que se sobrepasa sus capacidades de uso y han sido golpeados por varios fenómenos meteorológicos extremos.

La propuesta del esquema de transportación multimodal, a partir de la creación del pedraplén, permitiría la disminución de la sobreexplotación y la reparación de los viales ya existentes. El aumento de la conectividad permitiría disminuir

la vulnerabilidad de la zona ante fenómenos naturales de gran intensidad.

Entre las principales ventajas se encuentra la posibilidad de conexión entre los polos turísticos más importantes del área, la posibilidad del cierre temporal de los pedraplenes para su correcta reparación y la ampliación de las opciones de evacuación ante fenómenos extremos.

De generarse un proyecto para estos fines, sería importante que los ecosistemas de las bahías de Perros y Buenavista contaran con un seguimiento y que se aplicaran experiencias hidrogeológicas de construcciones anteriores. La protección y cuidado del ambiente en el área de estudio es una premisa relevante para mantener y promover la actividad turística.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Athar, M., Saluja, I. S. y Athar, H. (2022). Effect of bends on scour and deposition around causeways. In R. Jha, V. P. Singh, V. Singh, L. B. Roy y R. Thendiyath (Eds) *River Hydraulics. Water Science and Technology Library* (Vol. 110). Springer. <https://doi.org/jj2b>
- Barrio, O., Venegas, C., Maure, K., Martínez, E., Hernández, H., Martínez, J., González, R., García-Quinta, A. y Martín, Y. (2020). Impacto ambiental del vial de distribución principal de Cayo Cruz, Camagüey. *Monteverdia*, 13(1), 21-35. <https://bit.ly/3NqG078>
- Benedico-Rodriguez, O. A. (2017). Resumen meteorológico, en síntesis, de la influencia del huracán de gran intensidad Irma sobre la provincia Ciego de Ávila. *Revista Cubana de Meteorología*, 23(3), 378-384. <https://bit.ly/3zBq24l>
- Córdova-García, O., García-García, M., Machado-Montes de Oca, A. y Borrego-Díaz, R. (2018). Huracanes que afectaron a Ciego de Ávila y sus periodos de retorno. Periodo 1851 a 2017. *Revista Cubana de Meteorología*, 24(3), 245-255. <https://bit.ly/3zDpSJM>
- Franquiz, J. (2017). *Estudios de factibilidad de la cayería Norte de Villa Clara*. Centro de Investigación y Manejo ambiental del Transporte.
- Gerwing, T. G., Plate, E., Kidd, J., Sinclair, J., Burns, Ch. W., Johnson, S., Roias, S., McCulloch, C. y Bocking, R. C. (2020). Immediate response of fish communities and water chemistry to causeway breaching and bridge installation in the Kaouk river estuary, British Columbia, Canada. *Restoration Ecology*, 28(3), 623-631. <https://doi.org/10.1111/rec.13110>
- González, M. (2006). Gestión preventiva de impactos ambientales. Implantación geoespacial del turismo en el sector Oeste de Cayo Santa María, Jardines del Rey-Cuba. *Estudios y Perspectivas en Turismo*, 15, 350-366. <https://bit.ly/3DWkQe2>
- Hemmati, M., Ahmadi, H., Ahmad, S. y Naderkhanloo, V. (2021). Environmental effects of the causeway on water and salinity balance in Lake Urmia. *Regional Studies in Marine Science*, 44, e101756. <https://doi.org/gkx3hq>

- Instituto de Meteorología de Cuba. (2019). *Datos generales de los fenómenos meteorológicos en Cuba*. Instituto de Meteorología de Cuba.
- Lecha, L. B. (1998). *Clima. Estudio de Línea Base Ambiental de Cayo Santa María*. GEOCUBA.
- Quirós, A. y Machado, R. (2013). Experiencias hidrogeológicas en el diseño del pedraplén de Caibarién (2). *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 34(3), 70-76. <https://bit.ly/3U5SnYI>
- Rocamora, E., Cerdeira, S., Torres, J. C. y Molerio, L. F. (2000). *Interpretación digital de imágenes en la evaluación de impactos ambientales en el Archipiélago Sabana-Camagüey, Cuba*. CESIGMA S. A. <https://bit.ly/3FM0c1z>
- Rodríguez, Y. (2008). *Afectaciones provocadas por la limpieza de las playas del destino turístico Jardines del Rey. Caso de estudio: Playa Larga, Cayo Coco*. [Tesis de grado no publicada]. Universidad de La Habana.
- Rodríguez, Y. (2015). *Influencia potencial de las olas y la marea sobre la eficiencia del REALCO. Caso de estudio Punta Raza, Cayo Coco, Cuba*. [Tesis de Maestría, Universidad Nacional Autónoma de México]. Repositorio Institucional. <https://bit.ly/3EiQLFr>
- Vallejo, J., Sanchez, K., Roozee, E. y Temby, O. (2022). Disaster resilience versus ecological resilience and the proposed second causeway to south Padre Island. *Case Studies in the Environment*, 6(1), e1714379. <https://doi.org/10.1525/cse.2022.1714379>
- Ventura, Y. (2008). *Carga real de las playas del destino turístico Jardines del Rey. Caso de estudio Playa Larga, Cayo Coco*. [Tesis de Diploma no publicada]. Universidad de La Habana.
- Vickery, Ch. G. (2021). *Factors controlling circulation at the terminus of a shallow seagrass-dominated estuary, Fort DeSoto Bay, West-Central Florida*. [Tesis doctoral, Universidad de la Florida]. Repositorio Institucional. <https://bit.ly/3DXWmpX>
- Zúñiga, A. (2016). *Evaluación del potencial del Sistema Renovador de Aguas de Lagunas Costeras (REALCO) para la rehabilitación de Laguna Larga, Cuba*. [Tesis de Maestría, Universidad Nacional Autónoma de México] Repositorio Institucional. <https://bit.ly/3hwfE7T>



Contribución de las emisiones de gas metano producidas por el ganado bovino al cambio climático

Contribution of methane gas emissions from cattle to climate change

Contribuição das emissões de gás metano do gado para as alterações climáticas

Katherine Paola Tigmasa Paredes / Universidad Técnica de Ambato, Ecuador / ktigmasa0703@uta.edu.ec

Recibido: 20/10/2021

Aceptado: 11/5/2022

Publicado: 7/6/2022

RESUMEN

El sector ganadero es uno de los principales sistemas que contribuyen al desarrollo sostenible de la agricultura, sus principales aportaciones están en la seguridad alimentaria, la nutrición y el crecimiento económico, sin embargo, este sector es responsable de la emisión de una gran cantidad de gases de efecto invernadero. Este trabajo tuvo la finalidad de mostrar las contribuciones que presenta la producción ganadera frente al cambio climático, identificando la principal fuente de contaminación del sector, así como las alternativas de mitigación para la problemática presente. Para ello se analizaron los temas relacionados de diferentes fuentes, obteniendo información relevante para el sustento del trabajo. Como resultado, se pudo evidenciar que las emisiones de gas metano producidas por el ganado bovino es uno de los factores que contribuyen al cambio climático, por lo que se ha convertido en un problema a nivel global debido a sus impactos negativos.

Palabras clave: dieta, fermentación entérica, mitigación, rumen, rumiantes

ABSTRACT

The livestock sector is one of the main systems that contribute to the sustainable development of agriculture, its main contributions are in food security, nutrition and economic growth, however, this sector is responsible for the emission of a large amount of gases greenhouse. This work had the purpose of showing the contributions that livestock production presents in the face of climate change, identifying the main source of contamination in the sector, as well as the mitigation alternatives for the present problem. For this, the related topics from different sources were analyzed, obtaining relevant information for the support of the work. As a result, it was possible to show that methane gas emissions produced by cattle are one of the factors that contribute to climate change, which is why it has become a global problem due to its negative impacts.

Keywords: diet, enteric fermentation, mitigation, rumen, ruminants

RESUMO

O setor pecuário é um dos principais sistemas que contribuem para o desenvolvimento sustentável da agricultura, suas principais contribuições estão na segurança alimentar, nutrição e crescimento econômico, porém, este setor é responsável pela emissão de uma abundante de gases de efeito estufa. Este trabalho teve como objetivo mostrar as contribuições que a pecuária apresenta diante das mudanças climáticas, identificando a principal fonte de contaminação do setor, bem como as alternativas de mitigação para o presente problema. Para isso, foram analisados os temas relacionados de diferentes fontes, obtendo-se informações relevantes para a sustentação do trabalho. Como resultado, foi possível mostrar que as emissões de gás metano produzidas pelo gado são um dos fatores que contribuem para as mudanças climáticas, razão pela qual se tornou um problema global devido aos seus impactos negativos.

Palavras chave: dieta, fermentação entérica, mitigação, rúmen, ruminantes

INTRODUCCIÓN

El cambio climático es en la actualidad uno de los principales problemas ambientales, su principal determinante es el aumento de los gases de efecto invernadero, que son esencialmente de origen natural y antrópico (resultado de la actividad humana). La emisión continua de estos gases provoca un incremento sustancial en la temperatura media global, además de que puede llegar a tener consecuencias en la intensidad de los

fenómenos del clima en todo el mundo. Entre los principales gases de efecto invernadero se tienen al dióxido de carbono (CO₂), óxido nitroso (N₂O), ozono (O₃) y metano (CH₄) (Prado y Manzano, 2020).

La actividad humana es una de las principales razones del aumento de estos gases, ya que el incremento de la población provoca un rápido consumo de recursos tales como territorio, agua y energía. El uso del territo-

rio ha supuesto una transformación de ecosistemas para el desarrollo de la agricultura y la ganadería (Duarte *et al.*, 2006). Según el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (2019) las actividades humanas son las responsables del aumento de 1.0°C aproximadamente, con respecto a los niveles preindustriales, además estima que, si los gases de efecto invernadero siguen aumentando el calentamiento global llegará a 1.5°C entre 2030 y 2052.

El metano es un gas antropogénico muy potente, en 100 años una tonelada de este gas podría ser capaz de calentar el planeta 23 veces más que una tonelada de CO₂. Su concentración en la atmósfera es de 1.774 partes por billón (ppb) lo que significa un aumento del 59% de su concentración anterior a la revolución industrial. En el planeta existe 220 veces menos metano que CO₂, sin embargo, la emisión de este gas se va incrementando considerablemente (Oceana, s.f.).

DESARROLLO

El sector de la ganadería representa el 40% del valor global de la producción agropecuaria mundial y sustenta los medios de vida de casi 1300 millones de personas en todo el mundo. En 2018 la población ganadera mundial se estimaba en 143 mil millones de bovinos, 187 mil millones de ovejas y cabras, 0.98 mil millones de cerdos y 19.60 mil millones de pollos (Teixeira *et al.*, 2018). El sector de la ganadería contribuye con un 37% de las emisiones de metano, siendo la fermentación entérica proveniente del proceso digestivo de los bovinos la principal fuente de emisión de este gas (Romero, 2021).

Entre el 85 y el 95% del metano es generado en el rumen y entre el 5-15% restante en el intestino grueso del animal y se produce a través de las arqueas metanogénicas que son una compleja comunidad microbiana que digiere y fermenta los alimentos. La mayor parte de las arqueas generan metano a partir del CO₂ e hidrógeno, pero la cantidad diaria de metano que genera un rumiante depende de varios factores dietéticos como la fermentación de las grasas y carbohidratos (Carro *et al.*, 2018). Por lo general, una vaca adulta expulsa unos 200 g de metano al día, lo que equivale a 5 kg en unidades de CO₂. El metano no es usado por el animal como fuente de energía, lo elimina a través de los pulmones o mediante el eructo hacia la atmósfera, lo que equivale a una pérdida de fuerza que puede llegar hasta 7% del total de su energía bruta en el día (Benaouda *et al.*, 2017).

En una simulación del sistema ganadero en Argentina se demostró que el metano es ampliamente preponderante por sobre el óxido nítrico, siendo el componente principal de la fermentación entérica. Además, se identificó un patrón de crecimiento y decaimiento de gases de efecto invernadero que tienen relación con las fluctuaciones de producción de ganado bovino (Costantini *et al.*, 2018). Las emisiones de gas metano producidas por los rumiantes tienen un gran potencial de afectación al ambiente, sin embargo, este sector también se verá afectado por estas alteraciones climáticas, en especial por el aumento de la temperatura media global. Los impactos más relevantes que se verán en este sector serán: cambios

en la producción de carne y leche, crecimiento animal, enfermedades del ganado, además del estrés por calor, el cual disminuye la ingesta de alimentos, la reproducción de la especie, la producción de leche y en algunos casos la muerte de los rumiantes (Rojas *et al.*, 2017).

Entre las metodologías sugeridas por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático para el monitoreo de emisiones de gas metano están *Tier 1* que es una metodología basada en el uso de un factor de emisión anual multiplicado por el número de rumiantes presentes en el país, la *Tier 2* se calcula en base a la estimación del consumo diario, la pérdida de energía bruta que se convierte en metano y la proporción del concentrado en la dieta y la *Tier 3* que es la más precisa, pues utiliza modelos empíricos basados en ecuaciones matemáticas que consideran aspectos del rumiante como el peso vivo del animal, además de la composición química de su dieta (Ungerfeld *et al.*, 2018). El cálculo de las emisiones de metano entérico es importante, ya que basado en sus resultados se pueden establecer las técnicas de mitigación para el sector ganadero.

El desarrollo de estrategias que ayudan a disminuir el aumento de las emisiones de gas metano puede llegar a ser la solución para este sector. Las estrategias de mitigación de gases de efecto invernadero en el sector pueden orientarse a disminuir las emisiones, enfocándose directamente en el animal y su alimentación, cambiando las prácticas alimenticias y nutricionales, modificando el ambiente ruminal e incluso mejorando su reproducción

y genética. Así también se pueden incrementar los mecanismos de captura de compuestos que contribuyen a la formación de gases de efecto invernadero, mejorando el manejo de la pradera y fuentes alimenticias, salud del animal y manejo de estiércol (Alayón-Gamboa *et al.*, 2018).

La dieta de un rumiante es uno de los principales factores que influyen en la cantidad de metano producido por un bovino. La relación forraje-concentrado reduce el pH ruminal alterando las poblaciones microbianas, logrando un incremento en la producción de ácido propiónico, lo que genera menos hidrógeno en la fermentación ruminal provocando una reducción de las emisiones de metano entérico. Una alternativa nutricional es proporcionar al rumiante cereales como trigo, cebada o avena que se fermentan rápidamente en el rumen disminuyendo el número de arqueas metanogénicas provocando un descenso en la producción de metano (Carro *et al.*, 2018). Otra forma de contribuir con la disminución de estas emisiones es el aprovechamiento de las excretas del ganado, utilizando el biogás que emana como fuente alternativa de energía (Elizondo *et al.*, 2020).

Por otro lado, existen nuevas técnicas para la reducción de metano que están siendo activamente investigadas como la modulación del rumen que se centra en la obtención de un mapa del paisaje microbiano con la finalidad de conseguir una mejor comprensión de los microorganismos que producen el metano. Se intenta modificar el ecosistema ruminal a través de vacunas que produzcan anticuerpos

contra los metanógenos presentes en el rumen. Los experimentos in vitro muestran una reducción del 30% de metano, pero aún no se han realizado pruebas en animales vivos. Otro estudio se centran en la transferencia del microbioma de rumiantes de baja producción de metano al rumen de un animal de alta emisión de este gas, pero aún se encuentran en desarrollo, pues esta reducción no es permanente y los niveles de metano vuelven a la normalidad después de un tiempo (Andeweg y Reisinger, 2016).

CONCLUSIÓN

La ganadería es un sector que se encuentra en constante crecimiento, por lo que se considera una fuente importante de contaminación atmosférica, especialmente por el metano que es uno de los principales gases emitidos por el sector, a través de la fermentación entérica de los rumiantes, siendo este un gran potenciador del cambio climático. Asimismo, se pue-

den reducir considerablemente las emisiones de metano al implementar dietas que disminuyan la fermentación entérica de los bovinos y mejorar la gestión del estiércol, utilizando el biogás como fuente alterna de energía. Existen alternativas nutricionales que potencian la generación de ácido propiónico mediante dietas elaboradas conforme a las necesidades de los rumiantes, de este modo se mejorará la eficiencia energética del ganado, reduciendo las emisiones de metano sin afectar negativamente a la calidad de los productos animales. Es necesario impulsar las prácticas de mitigación dentro del sector, así como, también apoyar el desarrollo de nuevas investigaciones y tecnologías que tengan la capacidad de reducir las emisiones de este gas. Para que estas medidas sean más efectivas se deberían implementar a través de políticas que contribuyan a una mejor aceptación y comprensión de su importancia.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alayón-Gamboa, J., Jiménez-Ferrer, G., Piñeiro-Vázquez, A., Canul-Solís, J., Albores-Moreno, S., Villanueva-López, G., Nahed-Toral, J. y Ku-Vera, J. (2018). Estrategias de mitigación de gases de efecto invernadero en la ganadería. *Agroproductividad*, 11(2), 9–15. <https://bit.ly/3PJ8JVk>
- Andeweg, K. y Reisinger, A. (2016). *Reduciendo las emisiones de gases de efecto invernadero de la ganadería: Mejores prácticas y opciones emergentes*. Alianza Global de Investigación de Gases de Efecto Invernadero en la Agricultura. Grupo de Investigación de Ganadería. <https://bit.ly/38V9DgQ>
- Benaouda, M., González, M., Molina, L. T. y Castelán, O. A. (2017). Estado de la investigación sobre emisiones de metano entérico y estrategias de mitigación en América Latina. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(4), 965–974. <https://bit.ly/3PQjuVV>

- Carro, M. D., Evan, T. y González, J. (2018). Emisiones de metano en los animales rumiantes: influencia de la dieta. *Albéitar*, 220, 32–35. <https://bit.ly/3M4mxGW>
- Costantini, A., Perez, M. G., Busto, M., González, F., Cosentino, V., Romaniuk, R. y Taboada, M. A. (2018). Emisiones de gases de efecto invernadero en la producción ganadera. *Ciencia e Investigación*, 68(5), 47-54. <https://bit.ly/3lWgLWv>
- Duarte, C., Alonso, S., Benito, G., Dachs, J., Montes, C., Pardo, M., Ríos, A. F., Simó, R. y Valladares, F. (2006). *Cambio global: Impacto de la actividad humana sobre el sistema Tierra*. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. <https://bit.ly/3t4nnwT>
- Elizondo, A., Ibararán, M. E. y Boyd, R. G. (2020). Medidas de mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero adoptadas en el sector agropecuario: evaluación e impacto económico en México. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, 17(3), 513-523. <https://bit.ly/3z6CBVK>
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. (2019). *Calentamiento global de 1.5°C*. Organización Meteorológica Mundial/Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. <https://bit.ly/3MWBUm2>
- Oceana. (s.f.). *Cambio Climático*. Recuperado el 15 de septiembre de 2021 de: <https://bit.ly/392gi90>
- Prado, A. y Manzano, P. (2020). *La ganadería y su contribución al cambio climático*. BC3 Basque Center for Climate Change/Universidad de Helsinki. <https://bit.ly/3wZopwo>
- Rojas, M. M., Pouyan, A., Harrigan, T. y Woznicki, S. A. (2017). Climate change and livestock: Impacts, adaptation, and mitigation. *Climate Risk Management*, 16, 145–163. <https://bit.ly/3zb7tED>
- Romero, A. (2021). Actividad ganadera: evaluación de las emisiones y estrategias de mitigación. *Anales de la Real Academia de Doctores de España*, 6(2), 359–371. <https://bit.ly/3w-ZgaPE>
- Teixeira, C., Ludes, T., Sarmiento, N., Proenca, V. y Domingos, T. (2018). *Ganadería. Producción de pastos para ganado*. Global Nature Fund. <https://bit.ly/3wXWGMp>
- Ungerfeld, E. M., Escobar-Bahamondes, P. y Muñoz, C. (2018). Predicción y mitigación de las emisiones de metano de los rumiantes. *Agroproductividad*, 11(2), 34–39. <https://bit.ly/3a8XWmX>



Análisis de la sostenibilidad universitaria basada en el enfoque integral institucional

Analysis of analysis of university sustainability from the whole institutional approach

Análise da análise da sustentabilidade universitária a partir da abordagem institucional integral

Yira Araúz Santamaría de Monteza* / Universidad de Panamá, Panamá / yira.arauz@up.ac.pa

Recibido: 29/1/2022

Aceptado: 27/10/2022

Publicado: 15/11/2022

RESUMEN

El presente estudio fue de tipo exploratorio, tuvo como objeto el análisis de cómo la investigación aplicada a la solución de problemas institucionales puede constituirse en un entorno de aprendizaje vivo en los campus universitarios. En este caso, un proyecto de investigación (2019-2021) para la gestión de residuos orgánicos procedentes de la cocina de las cafeterías de la Universidad de Panamá. Se realizó un análisis descriptivo de los espacios académicos creados para la participación de los estudiantes y el alcance de los resultados en todas las fases del proyecto, desde la auditoría ambiental de residuos hasta la operacionalización y optimización de las técnicas de compostaje. Como métrica de comparación se seleccionó el *Sistema de Seguimiento, Evaluación y Calificación de la Sostenibilidad*, por su enfoque integral en instituciones de educación superior; también se utilizó para el análisis del eje estratégico de sostenibilidad de la Universidad de Panamá. El estudio permitió demostrar que el proyecto se convierte en una propuesta sostenible para la gestión de residuos, y un espacio de transformación curricular y cocurricular para el desarrollo de experiencias y el logro de resultados de aprendizaje.

Palabras clave: currículum, economía circular, entornos de aprendizaje, métricas de sostenibilidad

*Estudiante del programa de doctorado de Fondo Verde y la Universidad Centro Panamericano de Estudios Superiores (UNICEPES)

ABSTRACT

The present study was of an exploratory type, its purpose was the analysis of how research applied to the solution of institutional problems can become a living learning environment on university campuses. In this case, a research project (2019-2021) for the management of organic waste from the kitchen of the cafeterias of the University of Panama. A descriptive analysis of the academic spaces created for student participation and the scope of the results was carried out in all phases of the project, from the environmental audit of waste to the operationalization and optimization of composting techniques. As a comparison metric, the Sustainability Monitoring, Evaluation and Qualification System was selected, due to its comprehensive approach in higher education institutions; it was also used for the analysis of the strategic axis of sustainability of the University of Panama. The study made it possible to demonstrate that the project becomes a sustainable proposal for waste management, and a space for curricular and co-curricular transformation for the development of experiences and the achievement of learning results.

Keywords: curriculum, circular economy, learning environments, sustainability metrics

RESUMO

O presente estudo foi do tipo exploratório, teve como objetivo a análise de como a pesquisa aplicada à solução de problemas institucionais pode se tornar um ambiente vivo de aprendizagem nos campi universitários. Neste caso, um projeto de pesquisa (2019-2021) para a gestão de resíduos orgânicos da cozinha dos refeitórios da Universidade do Panamá. Foi realizada uma análise descritiva dos espaços acadêmicos criados para participação dos alunos e a abrangência dos resultados em todas as fases do projeto, desde a auditoria ambiental dos resíduos até a operacionalização e otimização das técnicas de compostagem. Como métrica de comparação, foi selecionado o Sistema de Monitoramento, Avaliação e Qualificação da Sustentabilidade, devido à sua abordagem abrangente nas instituições de ensino superior; também foi utilizado para a análise do eixo estratégico de sustentabilidade da Universidade do Panamá. O estudo possibilitou demonstrar que o projeto se torna uma proposta sustentável de gestão de resíduos, e um espaço de transformação curricular e cocurricular para o desenvolvimento de experiências e o alcance de resultados de aprendizagem.

Palavras chave: ambientes de aprendizagem, currículo, economia circular, métricas de sustentabilidade

INTRODUCCIÓN

La Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO, por sus siglas en inglés) ha llamado a las universidades a incorporar la sostenibilidad al funcionamiento de sus campus, gobernanza, políticas y administración, de modo que se transformen a sí mismas en un entorno de aprendizaje vivo donde se practique y aprenda sobre el desarrollo sostenible (UNESCO, 2014; UNESCO, 2020). La implementación de este enfoque, denominado *integral institucional*, es considerado crucial para cumplir con el compromiso universitario de un liderazgo catalizador que acelere el alcance de *los Objetivos de Desarrollo Sostenible* al 2030, una meta que se percibe no se ha logrado (Kohl *et al.*, 2021).

Las brechas en el alcance se producen porque muchas de las universidades que trabajan en temas de sostenibilidad lo hacen de manera aislada: en el reverdecimiento del campus, curricularmente, o en investigaciones disciplinares; sin producir la integración transformadora como concluyen Mader y Rammel (2015). Los marcos teóricos y prácticos para fomentar la motivación y el comportamiento relacionados con la sostenibilidad en entornos universitarios son escasos, ya que la cuestión de cómo institucionalizarla se documenta solo recientemente (Schmitt y Palm, 2018).

Las propuestas empiezan a surgir con investigaciones que buscan dar respuesta a problemas institucionales urgentes y percibidos

como intratables, entre ellos la gestión de residuos sólidos, especialmente en las universidades públicas (Ottoni *et al.*, 2022). Emergen líneas de investigación que integran todas las capacidades institucionales y transversalizan las diferentes disciplinas, como la aplicación del principio de *economía circular* (Börühan y Ozbiltekin-Pala, 2022) y su incidencia colateral en el tema de seguridad alimentaria, nutrición y promoción de la agricultura sostenible (Nelles *et al.*, 2021).

La Universidad de Manchester aplica el enfoque integral institucional con un nivel de madurez avanzado, e integra de manera circular sus recursos para los investigadores: tecnologías, prácticas de gestión, políticas internas, planes de estudio y prácticas de aprendizaje. Los resultados producidos por los diferentes actores enriquecen de nueva cuenta los recursos disponibles (Mendoza *et al.*, 2019). En la misma línea, Pichler *et al.* (2021) presentan el proyecto EURECA-PRO, en el que un grupo de universidades europeas que ya utilizan el enfoque integral, aportan su experiencia individual y cultura institucional para abordar de forma colaborativa desafíos sociales, y mejorar habilidades en la comunidad europea en todo el espectro de *consumo y producción responsable* (objetivo de desarrollo sostenible 12). Dicha experiencia transversaliza actividades de educación, investigación e innovación, como pilares fundamentales que benefician a todas las comunidades involucradas en EURECA-PRO.

En Panamá, en el tema ambiental y de sostenibilidad hay muchas carencias. En cuanto a la gestión de residuos sólidos, en particular, no se han logrado implementar iniciativas de recuperación selectiva en origen, reutilización, valorización o responsabilidad extendida del productor (Autoridad de Aseo Urbano y Domiciliar, 2017). Dichos problemas se trasladan a las universidades panameñas, que concentran una población aproximada de 180 mil estudiantes, de la que cerca del 70% es atendida en las cinco universidades oficiales del país, de acuerdo con los datos obtenidos del Instituto Nacional de Estadística y Censo (2018).

La Universidad de Panamá (UP) es la primera institución de estudios superiores fundada en el país (1935), es una universidad oficial y por su bajo costo, carácter multidisciplinario y presencia en toda la geografía panameña, capta cerca de 40% de la población universitaria, casi 70 000 estudiantes en 2018 (Instituto Nacional de Estadística y Censo, 2018).

De sus campus universitarios, el Octavio Méndez Pereira atiende el 50% del estudiantado de la Universidad, en su mayoría de escasos recursos, a quienes se les brinda un menú estudiantil con un costo subsidiado de B./0.50 en sus ocho cafeterías. Esta situación genera dos condiciones institucionales que deben ser gestionadas: por una parte, evitar la contaminación ambiental y factores de riesgo por la disposición de residuos orgánicos en vertederos, y por la otra, disminuir los costos operativos para mantener un menú estudiantil adecuado. Estas condiciones generan espacios propicios para

cambios culturales e institucionales. Por ello aparece la pregunta ¿Existen los compromisos necesarios para hacer operativos esos cambios?

Debido a lo anterior, la Universidad de Panamá ha elaborado un *Plan de desarrollo institucional (2017-2021)* fundamentado en la gestión de riesgo y la sostenibilidad. Sin embargo, este Plan no cuenta con objetivos medibles, ni se estilan reportes que permitan caracterizar los resultados en términos de sostenibilidad. De ahí que surja la interrogante ¿Cómo evaluar el impacto académico de proyectos bajo el enfoque integral institucional?

En ese sentido, el presente estudio busca explorar mediante el análisis cualitativo-descriptivo el impacto académico del proyecto de investigación aplicada CE-GESTIONAR, formulado para dar respuesta al tema de gestión ambiental de residuos orgánicos de las cocinas de las cafeterías universitarias. Por lo tanto, la pregunta de estudio formulada es la siguiente ¿se produce un entorno de aprendizaje vivo, de sostenibilidad y flexibilización curricular en función del proyecto? Para el análisis se escoge el *Sistema de Seguimiento, Evaluación y Calificación de la Sostenibilidad (STARS 2.2*, por sus siglas en inglés) dado su enfoque de evaluación académica que integra la gestión operacional. El estudio es pionero en investigación educativa en Panamá y promueve líneas de investigación emergentes y reflexiones urgentes sobre la gestión de la Educación Superior y los nuevos paradigmas de evaluación y acreditación universitaria.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación es de tipo exploratoria y descriptiva vinculada con la línea de Educación de Calidad para el Desarrollo Sostenible. Como parte del estudio se realizó una descripción general del proyecto de investigación *Centro de Estudio, Gestión y Aprovechamiento de Residuos (CE_GESTIONAR)* como entorno de aprendizaje. Se determinó además si este cumple con los criterios de sostenibilidad institucional integral establecidos por el *Sistema de Seguimiento, Evaluación y Calificación de Sostenibilidad (STARS 2.2* por sus siglas en inglés). Finalmente, se realizó un análisis del compromiso de sostenibilidad de la Universidad de Panamá de acuerdo con el *Plan de Desarrollo Institucional de 2017-2021* (UP, 2018).

Proyecto CE-GESTIONAR

Este proyecto fue ganador de una convocatoria pública de gestión integral de residuos sólidos de la Secretaría Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (SENACYT, 2018). Fue aprobado y apoyado por la Vicerrectoría de Investigación y Postgrado

de la Universidad de Panamá, con la expectativa de procesar residuos frescos de las cocinas de las cafeterías universitarias, mediante la técnica de vermicompostaje, con la lombriz *Eisenia Foetida* como elemento biotecnológico; y demostrar la transformación de estos residuos en sustancias húmicas. Además de impulsar el aprovechamiento de este producto en huertas de autoconsumo y así reducir los costos operativos de la Universidad, debido a que son consideradas esenciales en la mejora de la estructura del suelo y el crecimiento de las plantas (Blouin *et al.*, 2019; Fernández-Delgado *et al.*, 2020).

Si bien se inicia el proyecto con auditorías en las cafeterías que permiten determinar la cantidad de residuos generados en el campus. El proyecto se instala entre 2020 y 2021, cuando se suspendieron las clases presenciales como medidas sanitarias a causa de la pandemia de COVID-19, siendo esto una limitación. Las actividades de CE-GESTIONAR se llevaron a cabo como se resume en la siguiente *tabla*.

Tabla 1. Resumen de metodologías para el desarrollo del proyecto.

Objetivos	Etapa 1	
	Actividades	
Determinar la cantidad de residuos orgánicos biodegradables (kg/día) que se producen en las cafeterías.	Se desarrollaron reuniones de entendimiento con directivos de las cafeterías (campus Octavio Méndez Pereira) para conocer la propuesta, beneficios y requerimientos del proyecto. Se asesoró una tesis de pregrado en auditoría ambiental y diseño de <i>Sistema de Gestión Ambiental</i> a dos estudiantes de ingeniería en Prevención de Riesgos. Como parte de las actividades de auditoría se midió la cantidad de residuos generados en tres de las ocho cafeterías del campus durante tres semanas	

<p>Construcción de instalaciones e implementación de infraestructura del proyecto</p>	<p>Se construyeron las instalaciones del proyecto en el Centro Regional Universitario de Azuero en Chitré, Herrera, con capacidad para ocho cunas o lechos de vermicompostaje, electricidad, agua e internet, y dos contenedores de 20 pies para trabajo de oficina, laboratorio de campo y depósito.</p> <p>Se implementó un sistema de monitoreo (wifi) de las cunas (humedad y temperatura) y un sistema de riego automatizado con microcontrolador.</p> <p>Se implementó una huerta demostrativa tecnológica: con brazo robótico (<i>Farmbot</i>) sobre una cama construida de madera (1m x 3m), donde se ensayó el producto sólido cosechado. Para el riego se canalizó el techo y se almacenó el agua pluvial en un recipiente que se adaptó al brazo robótico mediante bombas y tuberías.</p> <p>Se implementaron prototipos de procesadores de residuos y precompostaje con cierta automatización</p>
<p>Producción del primer pie de cría de <i>Eisenia Foetida</i></p>	<p>Por las restricciones de movilidad sanitaria no se inician las actividades del proyecto en sitio, sino que se instala de manera doméstica el primer lecho en ciudad de Panamá: una semilla de mil lombrices (<i>Eisenia Foetida</i>) alimentadas con residuos de fruta (papaya, melón, sandía, guineo) con el objetivo de producir un pie de cría de 10 000 lombrices y determinar características de interés. Seis meses después, se realizó un muestreo por parcelas del lecho para determinar la cantidad de material humificado (kg), la masa (g), longitud promedio de lombrices adultas (cm) y densidad del lecho (# de lombrices/kg humus).</p>
<p>Incorporación de actores clave</p>	<p>Se entablan conversaciones con supermercados y vendedores de frutas en Chitré para que provean de mermas frescas al proyecto, en reemplazo de las cafeterías universitarias (cerradas).</p>

Etapa 2

Objetivo

Actividades

<p>Estudio de preprocesamiento de residuo, con estructurantes y de ajuste de condiciones de vermicompostaje.</p>	<p>Se trasladó el pie de cría al proyecto.</p> <p>Se incorporaron dos estudiantes de la Facultad de Ciencias Agropecuarias del Centro Regional Universitario de Azuero al proyecto, que colaboraron durante seis meses para aprender y atender el cuidado de cunas y preparación de alimentos. Aprendieron a utilizar balanzas, preparar y dosificar alimentos en las cunas, y llevar a cabo mediciones de material precompostado (pH, temperatura) para decidir sobre la aplicación o no, en los lechos de vermicompostaje. Las actividades no fueron parte de un curso formal.</p>
<p>Divulgación del proyecto dentro de</p>	<p>Un grupo de 20 estudiantes de Ingeniería de Prevención de Riesgos de la Facultad de Ingeniería (seleccionado por conveniencia) visitaron el proyecto en una</p>
<p>Divulgación del proyecto dentro de la comunidad educativa estudiantil.</p>	<p>Un grupo de 20 estudiantes de Ingeniería de Prevención de Riesgos de la Facultad de Ingeniería (seleccionado por conveniencia) visitaron el proyecto en una actividad de cierre del ciclo académico del curso de Gestión y Tecnología Ambiental; recibieron una charla sobre el proyecto y los beneficios de sostenibilidad asociados. Con la asesoría de sus pares, colaboradores del proyecto, aprendieron a preparar material para precompostaje.</p>

Demostración de productos.	Determinación analítica de ácidos húmicos y fúlvicos mediante cromatografía líquida de alta precisión con columnas de exclusión y detección por fluorescencia; una variación al procedimiento de Wu <i>et al.</i> (2007) y técnicas de extracción ácido base. La determinación de aniones y cationes fue realizada por Cromatografía Líquida de Alta Resolución, con detección por conductividad iónica suprimida, técnica utilizada por su versatilidad en todo tipo de matrices (Michalski, 2018).
Comunicación a la comunidad.	Se brindó el producto obtenido (sólido y líquido) al Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá para que lo utilizaran en su proyecto de investigación de agricultura orgánica. Reunión con pequeños productores, ingenieros agrónomos y Ministerio de Desarrollo Agropecuario de Panamá, para presentar los resultados del proyecto a fin de dar una segunda fase de escalamiento.

Fuente: Elaboración propia.

De manera exploratoria se analizó si la Sostenibilidad en la Educación Superior (2019); que permite identificar la sostenibilidad en términos académicos, curriculares y de investigación, compromisos con el campus y públicos, la gestión de operaciones, entre otros. Los criterios seleccionados se muestran en la *tabla 2*.

Tabla 2. Criterios de identificación STARS 2.2.

Subcategoría	Número	Descripción
Curricular	AC 1	Cursos académicos centrados en la sustentabilidad o que incluyen la sustentabilidad.
	AC 2	Resultados de aprendizaje: declaraciones que describen el conocimiento y habilidades específicas que el estudiante debe adquirir y demostrar.
	AC 5	Experiencia inmersiva de aprendizaje en las que los estudiantes manifiesten su aprendizaje en un resultado tangible que perdure y tenga utilidad.
	AC 6	Evaluación de alfabetización en sustentabilidad del alumnado, cultura y el compromiso de sustentabilidad.
	AC 7	Incentivos para ayudar al personal académico a ampliar la oferta de cursos de sustentabilidad.

	AC 8	El Campus como laboratorio vivo utiliza la infraestructura y operaciones como un laboratorio para el aprendizaje aplicado de los estudiantes.
	AC 9	Investigaciones que abordan explícitamente el concepto de sostenibilidad, la interdependencia de los sistemas y reciben otras formas de financiamiento.
Investigación	AC 10	Programas de apoyo a la investigación multidisciplinar sobre sostenibilidad, que alientan a participar a estudiantes y personal académico como prioridad institucional, y le da el mismo peso que a la investigación disciplinar.
Compromiso del campus	EN 3	Vida estudiantil: iniciativas cocurriculares que contribuyen a que los estudiantes aprendan sobre sostenibilidad fuera del aula formal, aprendizaje experiencial y la cultura del campus.
	EN 11	Colaboración intercampus: Comparten sus experiencias con otras universidades para ayudar a construir la sostenibilidad del campus en general.
Compromiso público	EN 14	Políticas públicas: promueve la sustentabilidad a través de la incidencia en políticas públicas.
Aire y clima	OP 2	Emisiones de gases de efecto invernadero: reconoce instituciones que las miden y las reducen.
Alimentos y comidas	OP 8	Comida y restaurantes sostenibles: reconoce a instituciones que apoyan un sistema sostenible.
Residuos	OP 18	Minimización de residuos: reconoce a las instituciones que minimizan la producción de desechos.
Agua	OP 22	Gestión del agua lluvia.

Nota: AC: categoría académica; EN: categoría compromisos; OP: operaciones

Fuente: Elaboración propia a partir de la información en STARS Technical Manual (Asociación para el Avance de la Sostenibilidad en la Educación Superior, 2019).

El *Sistema de Seguimiento, Evaluación y Calificación de la Sostenibilidad* (STARS 2.2) permite la autoevaluación y ejercicios de intercomparación entre campus universitarios (Zhu *et al.*, 2022). Sin embargo, los indicadores requieren datos cuantitativos globales institucionales que no son parte del objeto de este estudio.

Análisis del compromiso institucional con la sostenibilidad en la Universidad de Panamá

Se analiza el *Plan de Desarrollo Institucional de la Universidad 2017-2021* (UP, 2018), que incluye en el eje 6 su *compromiso con la sostenibilidad y reducción del riesgo ambiental*.

RESULTADOS

Los resultados del análisis de sostenibilidad del Proyecto se describen en la *tabla 3*.

Tabla 3. *Análisis de sostenibilidad alcanzado en CE-GESTIONAR de acuerdo con los Criterios de STAR 2.2.*

Criterio STARS 2.2	Resultados del Proyecto
AC 1, AC 2 y AC 5	Vinculación académica de estudiantes de ingeniería con una tesis de pregrado (Garrido y Muñoz, 2021) que permitió determinar la cantidad de residuos orgánicos biodegradables (kg/día); en promedio 30 kg/día/ por cafetería, y diseñar un <i>Sistema de Gestión Ambiental</i> . Los resultados de aprendizaje pueden ser utilizados para describir el conocimiento y habilidades ambientales que se espera que un estudiante haya adquirido al completar un pregrado de prevención de riesgos. Las experiencias de aprendizaje fueron inmersivas y útiles para su actividad profesional.
AC 6	Se produjo un proceso de alfabetización en sostenibilidad tanto para las estudiantes tesistas, como para los docentes y estudiantes presentes en la sustentación. La documentación del trabajo permite trazar los recursos y resultados de aprendizaje.
AC 8	Se utilizó la infraestructura de las cafeterías para el aprendizaje de las tesistas que contribuyó a comprender y promover la sostenibilidad en las operaciones de las siguientes áreas de impacto: emisiones de gases de efecto invernadero (OP 2), comedores y comida sostenible (OP 8), minimización de residuos (OP 18) y uso del agua (OP 21).
AC 9 y AC 10	Proyecto de investigación presentado por docente de la Universidad de Panamá que obtiene fondos externos de una convocatoria pública, y aborda explícitamente el concepto de sostenibilidad basado en el principio de economía circular. Integra disciplinas científicas (química, biología, agronomía), tecnológicas (programación, sensores, microcontroladores, robótica) e ingeniería (construcción de prototipos) y la gestión eficaz para la reducción de costos operativos y de manejo de residuos; reducción del impacto ambiental, sin perder el beneficio social para los estudiantes. El proyecto se basa en una prioridad nacional de gestión de residuos y cambio climático.
OP 2	Con el proyecto se hizo la primera estimación de gases de efecto invernadero en la Universidad de Panamá, producida por la descomposición de residuos orgánicos depositados en vertederos. La investigación preliminar permitió obtener los primeros datos locales de la lombriz <i>Eisenia Foetida</i> (no publicados en este reporte) que ayudaron a comprender la velocidad de procesamiento de residuos.
OP 8	Con la determinación de la composición de los productos húmicos cosechados, se promovió que la institución explore un sistema alimentario sostenible y resiliente.

OP 18	El proyecto promovió que la universidad evite la deposición de residuos a vertederos y conserve materia orgánica y nutrientes mediante el reciclaje y el compostaje
OP 22	El proyecto incorporó el uso de agua pluvial en la granja demostrativa y la reutilización de aguas residuales en los lechos de lombricultivos, prácticas de gestión que son importantes para mantener y proteger los suministros y evitar la descarga de efluentes en cuerpos de agua o alcantarillados.
EN 3	El proyecto convierte al campus en una vitrina de cultura ambiental que orienta a la resolución de un problema que atañe a cada ciudadano: la gestión de sus residuos. La estancia de estudiantes puede ser promovida con créditos extracurriculares, práctica profesional, servicio social, etc.
EN 11	CE-GESTIONAR es un espacio donde se aplican diferentes muestras de buenas prácticas (gestión de residuos, gestión de agua, etc.), experiencias que pueden ayudar a construir una cultura de sostenibilidad intercampus universitarios.
EN 14	Los resultados de los estudios que se desarrollaron en CE-GESTIONAR pueden ayudar a la generación de un modelo sostenible para la obtención de insumos agrícola de Panamá, como alternativa a la dependencia de insumos importados que asfixian al productor panameño (Rodríguez, 2021).

Nota: AC: categoría académica; EN: categoría compromisos; OP: operaciones

Fuente: Elaboración propia.

Una muestra de las actividades del proyecto en la que trabajaron los estudiantes se muestra en la *figura 1*.

Figura 1. Actividades del proyecto.



Fuente: Elaboración propia.

En cuanto al análisis del eje estratégico 6 del *Plan de Desarrollo Institucional 2017-2021* (UP, 2018) se muestran los siguientes compromisos de sostenibilidad de la institución:

La Universidad de Panamá identificó la necesidad de definir una política general de gestión ambiental y reducción de riesgos mediante el «diagnóstico de las necesidades institucionales más urgentes en materia de sostenibilidad ambiental» y la «definición de mecanismos de seguimiento y medición de los impactos de las políticas» (p.55). Dicha institución determinó que se deben fortalecer las prácticas educativas mediante «la promoción de la investigación con enfoque multidisciplinario y transdisciplinario que contribuya a la solución holística de problemas» (p. 55). Además, se deben establecer estrategias de comunicación mediante el «intercambio de lecciones aprendidas entre universidades del país y regionales, para la promoción y desarrollo del conocimiento ambiental y reducción del riesgo» (p. 55). Por último, se plantea que se debe trabajar en los programas, y recursos técnicos y financieros para el manejo adecuado de los recursos ambientales, tales como, programas de reciclajes y manejo eficiente de desechos, tratamiento de aguas servidas, entre otros.

DISCUSIÓN

Es importante resaltar que el proyecto CE-GESTIONAR brinda un aporte integral, especialmente en el aspecto académico. En la línea curricular, gracias al trabajo de grado de las dos tesis, se determinaron

y documentaron hallazgos ambientales y de higiene y seguridad industrial, que pueden abordarse en lo adelante como un laboratorio práctico en cursos de auditoría ambiental. Se determinó por primera vez, localmente, la huella ambiental de una operación universitaria que genera gases de efecto invernadero (metano), producto de la descomposición de los residuos orgánicos en vertederos. Se ejemplificó la calificación de sostenibilidad de un campus universitario conforme a una métrica ambiental (*UI GreenMetric*) y se diseñó una propuesta de *Sistema de Gestión Ambiental* conforme a los criterios de la ISO 14001:2015 (Organización Internacional de Normalización, 2015); temas actuales que pueden promoverse como líneas curriculares y de investigación. Por tanto, el resultado de este espacio produjo varios insumos para la adecuada gestión operativa de las cafeterías, que enriquecen la dimensión académica (curricular).

En cuanto a los aportes en investigación multidisciplinar, CE-GESTIONAR utilizó el financiamiento externo recibido de la Secretaría Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación para producir sus propios recursos de investigación a bajo costo, integrando disciplinas científicas, tecnológicas y de ingeniería. Por tanto, se produce una sostenibilidad para la I+D+i no sólo por el tema específico objeto de estudio, sino también por el desarrollo de herramientas para la investigación. Los prototipos construidos permitieron disminuir el tiempo de procesamiento y producir mezclas de alimento mucho más homogéneas. La granja demostrativa, con su brazo robóti-

co, permitió ensayar las muestras del humus producido y el aprovechamiento del agua pluvial cosechada del techo.

CE-GESTIONAR permitió a los estudiantes aprender como colaboradores de investigación en estancias prácticas; tal es el caso de los dos estudiantes de Ciencias Agropecuarias que participaron durante seis meses con el equipo de investigación en los estudios de precompostaje y vermicompostaje. El proyecto también permitió una colaboración intercampus en la Universidad de Panamá, como se desprende de la participación del grupo de 20 estudiantes de la Facultad de Ingeniería del campus Harmodio Arias Madrid (ciudad de Panamá), que visitaron el proyecto CE-GESTIONAR en el Centro Regional Universitario de Azuero (Chitré, Herrera), lo que promueve el intercambio de buenas prácticas.

Con el proyecto se incidió en temas de políticas públicas, de gestión ambiental y desarrollo de insumos orgánicos (fertilizantes). CE-GESTIONAR permitió generar data local no disponible de la lombriz *Eisenia Foetida*, para optimizar aspectos técnicos en el procesamiento de residuos. Los resultados fueron compartidos con otras instituciones de investigación estatal, y se trazan estrategias para capacitar a pequeños productores en una segunda fase de escalamiento. Por tanto, se alcanzaron los postulados de compromisos enunciados en STARS 2.2

En cuanto al análisis de los compromisos de sostenibilidad de la Universidad de Panamá, se pudo constatar que el eje 6 del *Plan de Desarrollo Institucional 2017-2021*

recoge los principios fundamentales de una institución de educación superior enrutada a la sostenibilidad; sin embargo, no se ha logrado una transformación institucional. Como se evidencia en el estudio de Garrido y Muñoz (2021), solo en el tema gestión de residuos orgánicos biodegradables en el campus Octavio Méndez Pereira se produjo una cantidad de residuos promedio de 30 kg/día/ por cafetería (0.24 ton/día de sus ocho cafeterías) que se disponen en el vertedero municipal, donde se descompone anaeróticamente para producir metano y contribuir al calentamiento global, además de ser un factor de riesgo (gas combustible) para la salud y seguridad de las comunidades vecinas, ya que los incendios en los vertederos son frecuentes (Pérez, 2020). La Universidad de Panamá debe asegurar la comunicación de las políticas institucionales ya que se hace imprescindible para la concreción de los compromisos adquiridos, de otra forma, los instrumentos carecen de respaldo y legitimidad ante una comunidad que no se empodera.

CONCLUSIONES

Existe una brecha entre la política propuesta y la realidad cotidiana en la Universidad de Panamá. Su subsanación debe iniciar con un marco académico práctico, flexibilizado, embebido en la sostenibilidad y protocolos de gestión adecuados. Lo anterior es posible a partir de proyectos pilotos que permitan fomentar los comportamientos y estándares de sostenibilidad; por ejemplo, la adopción y popularización

de restaurantes y comida sostenible a partir del reciclaje de desechos orgánicos, lo que además debería contribuir a reducir sus costos operativos.

CE-GESTIONAR es un proyecto de gestión ambiental circular que sintetiza el concepto de enfoque integral institucional de la UNESCO, y del que emergen entornos de aprendizaje naturales y de promoción real del desarrollo sostenible; indispensables en organizaciones complejas.

El *Sistema de Seguimiento, Evaluación y Calificación de Sostenibilidad (STARS 2.2)* es una métrica que permite evaluar la sostenibilidad académica universitaria de manera sencilla, con indicadores relevantes y específicos en planes de estudio, resultados de aprendizaje, experiencias inmersivas, investigación aplicada, promoción y evaluación de la alfabetización, compromisos internos y de transferencia del conocimiento.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Asociación para el Avance de la Sostenibilidad en la Educación Superior. (2019). *STARS Technical Manual Version 2.2*. <https://bit.ly/3G4YXub>
- Autoridad de Aseo Urbano y Domiciliar. (2017). *Plan Nacional de Gestión Integral de Residuos 2017-2027. Plan Nacional de Gestión Integral de Residuos Tomo II*. INECO. <https://bit.ly/3sCRECj>
- Blouin, M., Barrere, J., Meyer, N. Lartigue, S., Barot, S. y Mathieu, J. (2019). Vermicompost significantly affects plant growth. A meta-analysis. *Agronomy for Sustainable Development*, 39, e34. <https://doi.org/10.1007/s13593-019-0579-x>
- Börühan, G. y Ozbiltekin-Pala, M. (2022). Food waste management: an example from university refectory. *British Food Journal*, 124(1), 293-313. <https://doi.org/jjkh>
- Fernández-Delgado, M., del Amo-Mateos, E., Lucas, S., García-Cubero, M. T. y Coca, M. (2020). Recovery of organic carbon from municipal mixed waste compost for the production of fertilizers. *Journal of Cleaner Production*, 265, e121805. <https://doi.org/jjh7>
- Garrido, M. y Muñoz, D. (2021). Diseño de un Sistema de Gestión Ambiental con énfasis en minimización de residuos para las cafeterías universitarias del Campus Octavio Méndez Pereira de la Universidad de Panamá. [Tesis de grado no publicada]. Universidad de Panamá.
- Instituto Nacional de Estadística y Censo. (2018). *Matrícula de educación universitaria en la república, por nivel académico, según dependencia y universidad: año 2018*. <https://bit.ly/3g92ltt>

- Kohl, K., Hopkins, C., Barth, M., Michelsen, G., Dlouhá, J., Razak, D. A., Bin, Z. A. y Toman, I. (2022), A whole-institution approach towards sustainability: a crucial aspect of higher education's individual and collective engagement with the SDGs and beyond. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 23(2), 218-236. <https://doi.org/jjh9>
- Mader, C. y Rammel, C. (2015). Brief for GSDR 2015: Transforming Higher Education for Sustainable Development. *UN Sustainable Development Knowledge Platform*, 22(01). <https://bit.ly/3znPR80>
- Mendoza, J. M. F., Gallego-Schmid, A. y Azapagic, A. (2019). A methodological framework for the implementation of circular economy thinking in higher education institutions: Towards sustainable campus management. *Journal of cleaner production*, 226, 831-844. <https://doi.org/ggtkv3>
- Michalski, R. (2018). Ion Chromatography Applications in Wastewater Analysis. *Separations*, 5(1), e16. <https://doi.org/10.3390/separations5010016>
- Nelles, W., Visetnoi, S., Middleton, C. y Orn-in, T. (2021). Higher education institutions, SDG2 and agri-food sustainability: lessons from Chulalongkorn University and Thailand. *Environment, Development and Sustainability*, 24, 10975–10996. <https://doi.org/10.1007/s10668-021-01892-1>
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación la Ciencia y la Cultura. (2014). *Hoja de ruta para implementar el programa de acción mundial sobre educación para el desarrollo sostenible*. <https://bit.ly/3zuFgbd>
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación la Ciencia y la Cultura. (2020). *Educación para el desarrollo sostenible. Hoja de ruta*. <https://bit.ly/3gQhyzK>
- Organización Internacional de Normalización. (2015). *ISO 14001:2015(es) Sistemas de gestión ambiental-Requisitos con orientación para su uso*. <https://bit.ly/3DTKq1P>
- Ottoni, M., Fonseca, D. L. y Pertel, M. (2022). Circularity and sustainability within waste management in universities: case study of waste management plans (WMPs) in Brazilian public universities. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 23(4), 960-979. <https://doi.org/jjkj>
- Pérez, Y. (10 de enero de 2020). Azuero amanece con neblina de humo tóxico tras el incendio en el vertedero de Chitré. *La Estrella de Panamá*. <https://bit.ly/3tkcerf>

- Pichler, L., Egger, J., Feiel, S., Kircher, V. y Kosciuszko, A. (2021). EURECA-PRO: The European University on Responsible Consumption and Production. *BHM Berg- und Hüttenmännische Monatshefte*, 166, 500–504. <https://doi.org/jjkk>
- Rodríguez, M. (18 de octubre, 2021). Aumento de precio de fertilizantes químicos y abonos asfixia a los productores. *La Estrella de Panamá*. <https://bit.ly/3zmuYtx>
- Schmitt, C. T. y Palm, S. (2018). Sustainability at German Universities: The University of Hamburg as a Case Study for Sustainability-Oriented Organizational Development. In W. L. Filho. (Ed.), *Handbook of Sustainability Science and Research*. Springer. <https://doi.org/jjkm>
- Secretaría Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación. (2019). *Resolución Administrativa de No. 179 de 28 de mayo de 2019, a de fondos al proyecto CE-GESTIONAR Orgánicos*. <https://bit.ly/3G2yOfB>
- Universidad de Panamá. (2018). *Plan de Desarrollo Institucional (2017-2021)*. <https://bit.ly/3TLuRAF>
- Wu, F. C., Evans, R.D., Dillon, P. J. y Cai, Y. R. (2007). Rapid quantification of humic and fulvic acids by HPLC in natural waters. *Applied Geochemistry*, 22(8), 1598-1605. <https://doi.org/d3pk2q>
- Zhu, B., Liu, G. y Feng, J. (2022). A Comparison on the Evaluation Standards of Sustainable Campus between China and America. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 23(6), 1294 – 1314. <https://doi.org/10.1108/IJSHE-03-2021-0095>



Captura de carbono del arbolado de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Ecuador

Carbon capture and sequestration of the tree of the Lay University Eloy Alfaro of Manabí, Ecuador

Captura e sequestro de carbono das árvores da Universidade Lay Eloy Alfaro de Manabí, Equador

Ricardo Javier Castillo Ruperti / Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Ecuador / ricardo.castillo@uleam.edu.ec

Vicente Enrique Bello Pinargote / Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Ecuador / enrique.bello@uleam.edu.ec

Yulio Santiago Loor Barrezueta / Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Ecuador / yulio.loor@uleam.edu.ec

Carlos César Ayón Hidalgo / Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Ecuador / carlos.ayon@uleam.edu.ec

Recibido: 3/3/2022

Aceptado: 8/7/2022

Publicado: 29/7/2022

RESUMEN

La importancia de los árboles para el ambiente se centra en los servicios que pueden ofrecer, siendo el de fijación de CO₂ uno de los más destacados. El objetivo de la investigación fue estimar la cantidad de carbono capturado por el arbolado de las áreas verdes de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí. Para este propósito se realizó un inventario del estrato arbóreo. Se registraron todos los individuos con diámetro a 1.30 m \geq 5 cm. Se evaluó la riqueza y abundancia, además de variables dendométricas (altura total, diámetro del tronco). Se calculó el carbono capturado a partir de la estimación de biomasa forestal. La densidad de la madera de las distintas especies se obtuvo de varias bases de datos forestales mundiales. Se identificaron 68 especies y 1200 individuos. La especie más abundante fue *Azadirachta indica* (37%). El secuestro de CO₂ fue de 19 650.76 t. A pesar de que se fija una importante cantidad de carbono, muchos ejemplares se encuentran en conflicto con infraestructura física, lo cual requiere la remoción de estos. Se recomienda diseñar nuevas áreas verdes bajo estrictas normas de calidad, priorizando especies nativas.

Palabras clave: diarbolado urbano, áreas verdes, *Azadirachta indica*, secuestro de CO₂, servicios ambientales

ABSTRACT

The importance of trees for the environment focuses on the services they can offer, CO₂ fixation being one of the most prominent. The objective of the research was to estimate the amount of carbon captured by the trees in the green areas of the Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí. For this purpose, an inventory of the tree stratum was carried out. All individuals with a diameter at 1.30 m \geq 5 cm were recorded. Richness and abundance were evaluated, as well as dendrometric variables (total height, trunk diameter). The carbon captured was calculated from the estimate of forest biomass. The wood density of the different species was obtained from various global forestry databases. 68 species and 1200 individuals were identified. The most abundant species was *Azadirachta indica* (37%). CO₂ sequestration was 19 650.76 t. Although a significant amount of carbon is fixed, many specimens are in conflict with physical infrastructure, which requires their removal. It is recommended to design new green areas under strict quality standards, prioritizing native species.

Keywords: *Azadirachta indica*, CO₂ sequestration, environmental services, green areas, urban trees

RESUMO

A importância das árvores para o ambiente centra-se nos serviços que podem oferecer, sendo a fixação de CO₂ um dos mais destacados. O objetivo da pesquisa foi estimar a quantidade de carbono capturada pelas árvores nas áreas verdes da Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí. Para tanto, foi realizado um inventário do estrato arbóreo. Todos os indivíduos com diâmetro de 1.30 m \geq 5 cm foram registrados. Foram avaliadas a riqueza e abundância, bem como as variáveis dendométricas (altura total, diâmetro do tronco). O carbono capturado foi calculado a partir da estimativa da biomassa florestal. A densidade da madeira das diferentes espécies foi obtida de vários bancos de dados florestais globais. 68 espécies e 1200 indivíduos foram identificados. A espécie mais abundante foi *Azadirachta indica* (37%). O sequestro de CO₂ foi de 19 650.76 t. Embora uma quantidade significativa de carbono seja fixada, muitos espécimes estão em conflito com a infraestrutura física, o que exige sua remoção. Recomenda-se projetar novas áreas verdes sob rígidos padrões de qualidade, priorizando espécies nativas.

Palavras chave: áreas verdes, arborização urbana, *Azadirachta indica*, sequestro de CO₂, serviços ambientais

INTRODUCCIÓN

El interés por el estudio de la vegetación urbana se ha elevado en los últimos años, principalmente por los aportes de esta para mitigar los efectos del cambio climático.

Muchos gobiernos municipales adoptan medidas dirigidas a proteger los espacios naturales e incrementar las áreas verdes, y más recientemente la implementación de

la arquitectura verde (Velasco *et al.*, 2016). Estas iniciativas se relacionan con los beneficios que proporciona la vegetación en los ecosistemas urbanos tales como almacenar y secuestrar carbono, reducir la contaminación acústica, mejorar la calidad del aire, reducir el consumo de energía, mejorar el valor de la propiedad y la calidad de vida urbana, contribuir a la salud humana, mitigar el calor y los extremos climáticos (Edwards *et al.*, 2020).

Se estima que las áreas urbanas consumen el 67% de la energía global y producen el 71% de las emisiones de CO₂, principalmente por el volumen del tráfico, la quema de combustibles fósiles y el cambio de áreas naturales por superficies artificiales (International Energy Agency, 2008). A pesar de que en las zonas urbanas se generan altas emisiones de contaminantes a la atmósfera, los bosques urbanos solo aportan el 2.21% de las reservas de carbono frente a 17.11 toneladas de carbono/ha de la cubierta forestal y arbórea en general (Gratani *et al.*, 2016). En Ecuador, las emisiones de CO₂ en el año 2020 alcanzaron las 33 279 Mt (DatosMacro, 2020). Aunque las emisiones de Ecuador representan menos del 0.5% del CO₂ a nivel mundial, el Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica sugiere la siembra de más de seis millones de árboles para mitigar la producción de CO₂ en zonas urbanas (Castillo-Ruperti *et al.*, 2022).

Los automotores se han identificado como los principales generadores de CO₂ en las zonas urbanas. Datos demuestran que en la ciudad de Manta el parque automotor (carros, camiones, buses, motocicletas) ha au-

mento de 41 000 en 2015 a 88 000 en 2017 (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, 2018), lo que sugiere un incremento de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera. Con relación a esto, la *Convención de Naciones Unidas para el Cambio Climático* ha propuesto la mitigación de las emisiones de gases de efecto invernadero como estrategia para luchar contra el cambio climático (Naciones Unidas, 1992).

Pocos estudios locales disponibles evalúan los aportes del arbolado urbano para la eliminación directa del CO₂ de la atmósfera. Castillo-Ruperti *et al.* (2022) en su investigación sobre el arbolado del parque de La Madre (parque de mayor dimensión en Manta) determinan que los 87 árboles evaluados captan 36 555.78 kg de CO₂ de la atmósfera. Sin embargo, en zonas importantes de la urbe como la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, en la cual se han identificado hasta 29 áreas verdes (Piloza, 2017), no se ha estudiado el potencial del arbolado en el secuestro de CO₂.

Considerando que los parques urbanos proporcionan la mayor parte de espacios verdes públicos disponibles para los habitantes urbanos (Latinopoulos, 2022), y que el arbolado que los integra cumple un papel fundamental a la hora de mitigar las emisiones de CO₂ generadas en las zonas urbanas mediante el proceso de fijación a través de la fotosíntesis (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2021), los urbanistas y arquitectos no han tomado en cuenta estos aspectos a la hora de planificar y desarrollar nuevas áreas urbanas (Danilina *et al.*, 2021). Esfuerzos rea-

lizados por la administración municipal de Manta para mitigar la contaminación atmosférica como el programa *Manta Reverdece* no parecen ser suficientes, además de evidenciar no estar correctamente planificado ni implementado, ya que las características a tener en cuenta al plantar un árbol; tales como la selección de especies adaptadas al clima local, la composición, estado, distribución, estructura de cada una de las especies y el manejo, no parecen ser las correctas. El no tener en consideración estas particularidades limitaría el potencial del arbolado urbano de secuestrar CO₂ según lo plantea Sharma *et al.* (2021).

Por ende, la presente investigación tiene como objetivo estimar la cantidad de carbono capturado por el arbolado urbano de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Ecuador a través del cálculo de la biomasa forestal (Brown y Lugo, 1992; Raihan *et al.*, 2021). De esta forma se podrá valorar el po-

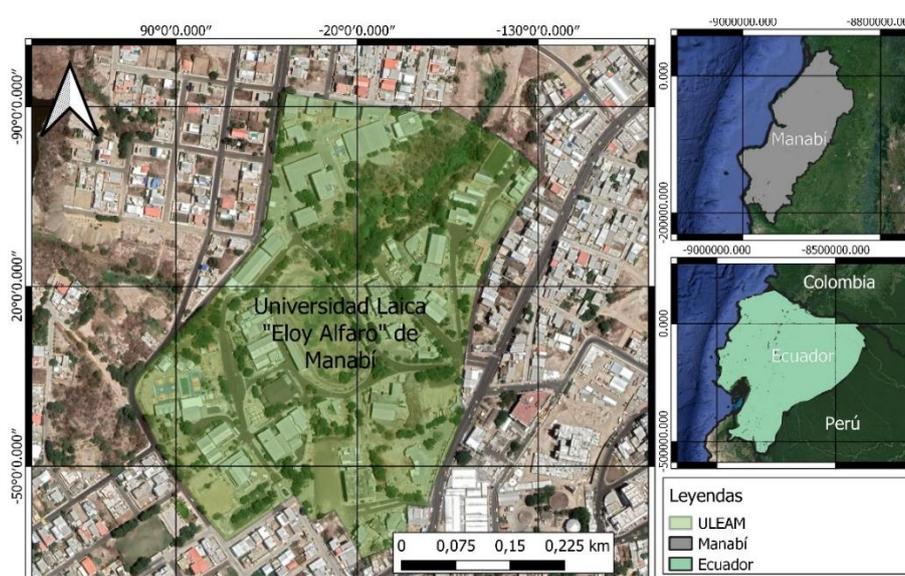
tencial del arbolado urbano de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí para fijar CO₂. De esta forma se brindará información útil a los tomadores de decisiones que les permitirá diseñar planes de gestión de áreas verdes eficientes y, además, proyectar nuevas áreas verdes eligiendo las especies de árboles en función de su capacidad para secuestrar CO₂.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

La investigación se realizó en la sede de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, ubicada en la ciudad de Manta, Ecuador (*figura 1*). Posee una extensión aproximada de 214 283 m². Presenta varias infraestructuras civiles (edificios, calles, aceras, postes y cableado) y diversas áreas verdes de distintas características y variados fines. Además, es considerado uno de los espacios con mayor densidad arbórea de la ciudad.

Figura 1. Ubicación de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí.



Fuente: Elaboración propia.

Inventario forestal

El inventario forestal se realizó de febrero a septiembre de 2021, seleccionando solo las especies leñosas ≥ 5 cm. Se evaluó la riqueza y abundancia del estrato arbóreo presente en las áreas verdes (aceras, jardines y parques) de la institución, independientemente de su función. La identificación de especies se realizó mediante la observación directa apoyada por distintas guías de campo. Como parte de la colección de datos se realizaron registros fotográficos. Las especies identificadas fueron categorizadas por ecosistemas de procedencia (húmedo, seco) y por la distribución del taxón (endémica, introducida, nativa).

Se estimó el diámetro (DAP) midiendo la longitud de circunferencia (LC) en centímetros a 1.3 m de altura del tallo con una cinta métrica. Se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$DAP = LC/\pi$$

Por su parte la altura de los árboles se midió mediante el método de comparación de triángulos:

$$H = h * (D/d)$$

Donde

H = Altura del árbol (m)

h = Distancia en la regla entre la base y copa del árbol observado

D = Distancia entre el observador y el árbol

d = Distancia entre la regla y el observador

El área basal se estimó aplicando la fórmula:

$$AB = (\pi/4) * DAP^2$$

Donde

AB = Área basal (m²)

$\pi = 3.1416$

DAP = Diámetro a 1.3 metros

El volumen de los árboles se determinó usando la siguiente fórmula:

$$\text{Volumen} = AB * H * ff$$

Donde

AB = Área basal (m²)

H = Altura

ff = factor de forma (0.7) (Ministerio del Ambiente, 2012)

La estructura arbórea de las áreas verdes de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí se analizó mediante clases diamétricas de intervalos de 5 cm y clases altimétricas de intervalos de 5 m.

Estimación de CO₂ capturado en árboles

Para estimar el CO₂ capturado por el estrato arbóreo de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí se utilizó el método propuesto por Jumbo-Salazar *et al.* (2018). El uso de este método requiere determinar, previamente, la biomasa forestal.

Se utilizaron los factores de expansión para biomasa aérea y subterránea propuestos por el Panel de Cambio Climático para especies de zonas climáticas tropicales, aplicando un factor de expansión de 5.0 y 1.9 para especies con volúmenes < 20 m³ y entre 21-40 m³ respectivamente (Aalde *et al.*, 2006). La densidad de madera de cada especie fue obtenida de bases de datos de fuentes secundarias (Aalde

et al., 2006; Orwa et al., 2009; Arroyave et al., 2014). El valor de la biomasa forestal se obtuvo mediante la fórmula propuesta por Brown y Lugo (1992) que se representa a continuación:

$$Bf = \text{Volumen} * GE * FEBa * FEBs$$

Donde

Bf = Biomasa forestal (t)

GE = Densidad de la madera (t/m³)

FEBa = Factor de expansión de biomasa aérea

FEBs = Factor de expansión de biomasa subterránea

El carbono almacenado en el arbolado se calculó a partir de la fracción de la biomasa de los individuos (0.49), propuesta por Aalde et al. (2006):

$$C = Bf * Fc$$

Donde

C = Carbono (t)

Bf = Biomasa forestal

Fc = Fracción de carbono

Para estimar la cantidad de CO₂ capturado, se entiende que una tonelada de carbono equivale a 3.67 t de CO₂ secuestrado, se usó la ecuación de Jumbo-Salazar et al. (2018):

$$CO_2 = C * 3.67$$

Donde

CO₂ = cantidad de dióxido de carbono capturado en toneladas de CO₂

3.67 = fracción que se usa para convertir carbono en toneladas de CO₂

RESULTADOS

Composición y estructura del arbolado

El arbolado de las áreas verdes de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí se encuentra distribuido de forma heterogénea entre parques, jardines y aceras de la institución. Como resultado de la evaluación en campo se identificaron un total de 68 especies de árboles y 1200 individuos. La especie más abundante fue *Azadirachta indica* (37%), seguida por la especie *Adonidia merrillii* (12%), ambas introducidas. La mayoría de las especies (66) identificadas han sido descritas como afines a ecosistemas secos (tabla 1).

Tabla 1. Riqueza y abundancia de especies.

Nombre Científico	Abundancia	FR	Ecosistema		Categoría		
			H	S	E	I	N
<i>Azadirachta indica</i>	441	0.3669		x			x
<i>Adonidia merrillii</i>	142	0.1181		x			x
<i>Mangifera indica</i>	60	0.0499	x				x
<i>Prosopis spp.</i>	51	0.0424		x			x
<i>Bucida buceras</i>	48	0.0399		x			x
<i>Cocos nucifera</i>	43	0.0358		x			x
<i>Tamarindus indica</i>	37	0.0308		x			x
<i>Samanea saman</i>	32	0.0266		x			x
<i>Tabebuia chrysantha</i>	31	0.0258		x			x
<i>Caesalpinia pluviosa</i>	29	0.0241		x			x
<i>Albizia guachapele</i>	22	0.0183		x			x
<i>Inga edulis</i>	22	0.0183		x			x

<i>Pithecellobium excelsum</i>	20	0.0166	x	x
<i>Ficus benjamina</i>	19	0.0158	x	x
<i>Psidium guajava</i>	13	0.0108	x	x
<i>Caesalpinia pulcherrima</i>	11	0.0092	x	x
<i>Acacia macracantha</i>	10	0.0083	x	x
<i>Delonix regia</i>	10	0.0083	x	x
<i>Cnidocolus aconitifolius</i>	8	0.0067	x	x
<i>Spondias purpurea</i>	8	0.0067	x	x
<i>Leucaena leucocephala</i>	7	0.0058	x	x
<i>Spathodea campanulata</i>	7	0.0058	x	x
<i>Cavanillesia platanifolia</i>	6	0.0050	x	x
<i>Jacaranda mimosifolia</i>	6	0.0050	x	x
<i>Phoenix dactylifera</i>	6	0.0050	x	x
<i>Terminalia catappa</i>	6	0.0050	x	x
<i>Vitex gigantea</i>	6	0.0050	x	x
<i>Annona cherimola</i>	5	0.0042	x	x
<i>Annona muricata</i>	5	0.0042	x	x
<i>Moringa oleifera</i>	5	0.0042	x	x
<i>Pithecellobium dulce</i>	5	0.0042	x	x
<i>Syzygium jambos</i>	5	0.0042	x	x
<i>Terminalia catappa</i>	5	0.0042	x	x
<i>Dyopsis lutescens</i>	4	0.0033	x	x
<i>Muntingia calabura</i>	4	0.0033	x	x
<i>Plumeria rubra</i>	4	0.0033	x	x
<i>Acacia sp.</i>	3	0.0025	x	x
<i>Annona squamosa</i>	3	0.0025	x	x
<i>Citrus × sinensis</i>	3	0.0025	x	x
<i>Parkinsonia aculeata</i>	3	0.0025	x	x
<i>Robinia pseudoacacia</i>	3	0.0025	x	x
<i>Tabebuia rosea</i>	3	0.0025	x	x
<i>Ceiba trichistandra</i>	2	0.0017	x	x
<i>Ceratonia siliqua</i>	2	0.0017	x	x
<i>Citrus × limon</i>	2	0.0017	x	x
<i>Citrus reticulata</i>	2	0.0017	x	x
<i>Cupressus sempervirens</i>	2	0.0017	x	x
<i>Ficus revoluta</i>	2	0.0017	x	x
<i>Guazuma ulmifolia</i>	2	0.0017	x	x
<i>Libidibia corymbosa</i>	2	0.0017	x	x
<i>Pachycereus pringlei</i>	2	0.0017	x	x
<i>Phoenix canariensis</i>	2	0.0017	x	x
<i>Punica granatum</i>	2	0.0017	x	x
<i>Swietenia macrophylla</i>	2	0.0017	x	x
<i>Wodyetia bifurcata</i>	2	0.0017	x	x
<i>Araucaria heterophylla</i>	1	0.0016	x	x

<i>Bursera graveolens</i>	1	0.0008	x	x
<i>Casuarina equisetifolia</i>	1	0.0008	x	x
<i>Cordia alliodora</i>	1	0.0008	x	x
<i>Crosopidey palides</i>	1	0.0008	x	x
<i>Gallesia integrifolia</i>	1	0.0008	x	x
<i>Jatropha integerrima</i>	1	0.0008	x	x
<i>Mammea americana</i>	1	0.0008	x	x
<i>Nerium oleander</i>	1	0.0008	x	x
<i>Phyllantus acidus</i>	1	0.0008	x	x
<i>Ribes rubrum</i>	1	0.0008	x	x
<i>Vallesia glabra</i>	1	0.0008	x	x
Total general	1200			

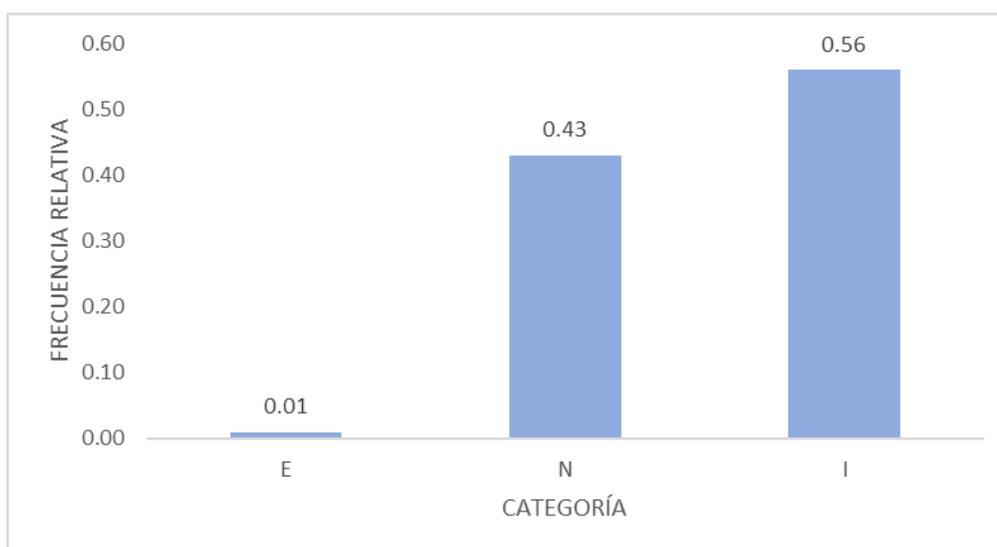
Nota: FR: frecuencia relativa; H: ecosistema húmedo; S: ecosistema seco; E: endémicas; I: introducidas y N: nativas.

Fuente: Elaboración propia.

Respecto a la frecuencia de especies categorizadas según su origen y distribución, sobresalen las introducidas, alcanzando el 56%, lo que corresponde a 38 especies. Destaca, como

parte del arbolado de las áreas verdes de la Universidad Lay Eloy Alfaro de Manabí, una especie endémica (figura 2).

Figura 2. Frecuencia relativa de las categorías de especies.



Nota: E: endémicas; I: introducidas y N: nativas.

Fuente: Elaboración propia.

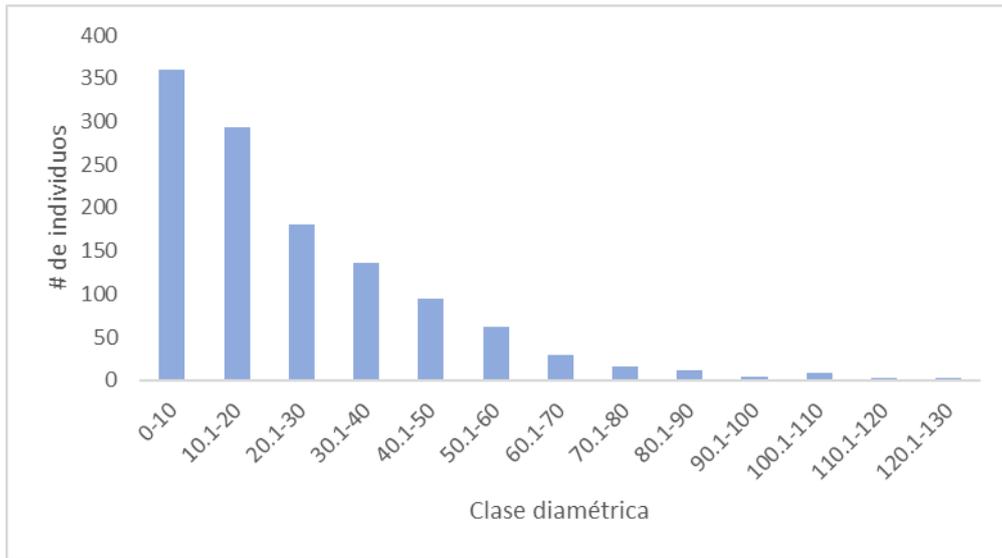
El área basal total del arbolado fue de 95.42 m², lo que representa un valor de 4.45 m²/ha. La especie con mayor índice basal fue *Azadirachta indica*, alcanzando los 64.60 m². El volumen

total de madera que se obtuvo fue de 727.42 m³, siendo la especie *Azadirachta indica* la de mayor volumen 512.44 m³, lo que representa el 70% del volumen total.

En la *figura 3* se presenta la distribución de árboles por clases diamétricas, determinando la primera clase como la más abundante (30%). El 80% de los árboles (n=971) no superan los 40 cm de diámetro. La distribución de clases

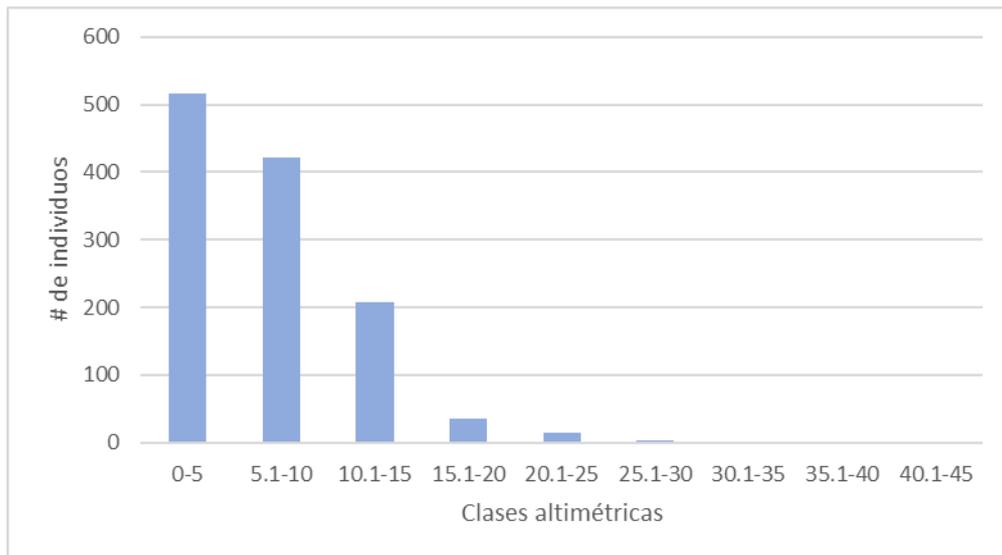
altimétricas mostró la misma tendencia que las clases diamétricas. El 78% de los árboles no superan los 10 m (*figura 4*). Solo un árbol alcanzó una altura superior a los 40 m.

Figura 3. Distribución de clases diamétricas del arbolado.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4. Distribución de clases altimétricas del arbolado.



Fuente: Elaboración propia.

Captura de CO₂

Las especies con mayor densidad son: *Tabebuia chrysantha* (1.04 t/m³), *Tamarindus indica* (0.99 t/m³) y *Caesalpinia pluviosa* (0.89 t/m³). La biomasa arbórea calculada total fue de 10 927.41 t. Mientras que el carbono almacenado cubre 5 354.43 t, lo que representa 40 t/ha. En ambos casos, la especie *Azadirachta indica* acumula la mayor biomasa forestal (7825.58 t) y carbono almacenado (3834.53 t/ha), esto representa el 70% de biomasa forestal y

carbono almacenado por esta especie. En el área de estudio, el CO₂ capturado se estimó en 19 650.76 t, lo que resulta en 10.90 t/ha de carbono capturado por el arbolado de las áreas verdes de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí (tabla 2). La especie que se destaca por sobre las demás es *Azadirachta indica*, la cual captura el 72% del CO₂ (14 072.74 t) de todo el arbolado de las áreas verdes de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí (figura 5).

Tabla 2. Captura de carbono por especies.

Nombre científico	Densidad (t/m ³)	Bf (t)	Carbono almacenado (t)	CO ₂ capturado (t)
<i>Azadirachta indica</i>	0.64	7825.58	3834.53	14 072.74
<i>Prosopis spp.</i>	0.85	671.95	329.26	1208.37
<i>Samanea saman</i>	0.52	578.52	283.47	1040.35
<i>Ficus benjamina</i>	0.65	421.99	206.77	758.86
<i>Caesalpinia pluviosa</i>	0.89	303.53	148.73	545.83
<i>Tamarindus indica</i>	0.99	108.69	53.26	195.45
<i>Acacia sp.</i>	0.65	103.36	50.65	185.88
<i>Spondias purpurea</i>	0.40	95.00	46.55	170.84
<i>Mangifera indica</i>	0.65	94.00	46.06	169.03
<i>Pithecellobium excelsum</i>	0.64	71.89	35.23	129.29
<i>Caesalpinia pulcherrima</i>	0.84	70.49	34.54	126.77
<i>Delonix regia</i>	0.58	68.35	33.49	122.92
<i>Leucaena leucocephala</i>	0.64	63.24	30.99	113.72
<i>Cnidocolus aconitifolius</i>	0.62	57.30	28.08	103.04
<i>Ceratonia siliqua</i>	0.79	52.50	25.73	94.41
<i>Acacia macracantha</i>	0.65	45.20	22.15	81.28
<i>Adonidia merrillii</i>	0.49	42.45	20.80	76.33
<i>Albizia guachapele</i>	0.56	38.24	18.74	68.76
<i>Cocos nucifera</i>	0.50	32.80	16.07	58.99
<i>Terminalia catappa</i>	0.54	24.04	11.78	43.24
<i>Tabebuia chrysantha</i>	1.04	18.67	9.15	33.57
<i>Psidium guajava</i>	0.65	15.26	7.48	27.44
<i>Robinia pseudoacacia</i>	0.69	14.51	7.11	26.10
<i>Punica granatum</i>	0.77	13.08	6.41	23.52
<i>Casuarina equisetifolia</i>	0.83	11.10	5.44	19.97
<i>Inga edulis</i>	0.51	10.60	5.19	19.06

<i>Bucida buceras</i>	0.69	10.48	5.13	18.84
<i>Muntingia calabura</i>	0.55	7.72	3.78	13.89
<i>Citrus × sinensis</i>	0.78	5.90	2.89	10.61
<i>Pithecellobium dulce</i>	0.64	4.76	2.33	8.56
<i>Ficus revoluta</i>	0.65	4.73	2.32	8.51
<i>Terminalia catappa</i>	0.54	4.65	2.28	8.36
<i>Swietenia macrophylla</i>	0.42	3.70	1.82	6.66
<i>Syzygium jambos</i>	0.70	3.40	1.67	6.12
<i>Guazuma ulmifolia</i>	0.52	2.94	1.44	5.28
<i>Vitex gigantea</i>	0.52	2.93	1.44	5.27
<i>Phoenix dactylifera</i>	0.46	2.22	1.09	3.99
<i>Moringa oleifera</i>	0.262	1.96	0.96	3.52
<i>Jacaranda mimosifolia</i>	0.639	1.94	0.95	3.50
<i>Parkinsonia aculeata</i>	0.66	1.77	0.86	3.17
<i>Araucaria heterophylla</i>	0.67	2.70	1.33	4.87
<i>Cupressus sempervirens</i>	0.59	1.52	0.75	2.73
<i>Annona muricata</i>	0.32	1.43	0.70	2.56
<i>Ceiba trichistandra</i>	0.26	1.34	0.66	2.41
<i>Annona cherimola</i>	0.32	1.34	0.66	2.41
<i>Dyopsis lutescens</i>	0.50	1.30	0.64	2.33
<i>Citrus reticulata</i>	0.78	1.18	0.58	2.13
<i>Jatropha integerrima</i>	0.56	0.86	0.42	1.54
<i>Pachycereus pringlei</i>	0.54	0.65	0.32	1.17
<i>Plumeria rubra</i>	0.62	0.60	0.29	1.08
<i>Wodyetia bifurcata</i>	0.66	0.57	0.28	1.03
<i>Phoenix canariensis</i>	0.46	0.47	0.23	0.85
<i>Tabebuia rosea</i>	0.53	0.36	0.18	0.65
<i>Libidibia corymbosa</i>	0.75	0.23	0.11	0.42
<i>Nerium oleander</i>	0.60	0.19	0.09	0.35
<i>Phyllanthus acidus</i>	0.59	0.18	0.09	0.33
<i>Spathodea campanulata</i>	0.33	0.17	0.08	0.31
<i>Cordia alliodora</i>	0.46	0.16	0.08	0.28
<i>Vallesia glabra</i>	0.48	0.15	0.07	0.27
<i>Mammea americana</i>	0.64	0.13	0.07	0.24
<i>Cavanillesia platanifolia</i>	0.32	0.12	0.06	0.22
<i>Gallesia integrifolia</i>	0.69	0.09	0.04	0.15
<i>Annona squamosa</i>	0.32	0.08	0.04	0.14
<i>Citrus × limon</i>	0.78	0.06	0.03	0.10
<i>Bursera graveolens</i>	0.28	0.05	0.02	0.09
<i>Ribes rubrum</i>	0.73	0.04	0.02	0.07
Total general		10 927.41	5354.43	19 650.76

Nota: Bf: biomasa forestal en toneladas por especie.

Fuente: Elaboración propia.

DISCUSIÓN

Composición y estructura

Se identificaron un total de 1 200 individuos de 68 especies. La significativa cantidad de especies nativas (44%) de las áreas verdes de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí se asemeja a lo reportado en áreas verdes urbanas en otras ciudades de Ecuador como Otavalo con 41% (Farinangro-Carlosama, 2020), Cuenca 41% (Muñoz y Vásquez, 2020) e Ibarra 37% (Farinango, 2020); incluso en otros países hay valores similares como en Brasil con 59% (Muneroli y Mascaró, 2010) y la India con 42% (Divakara *et al.*, 2022). A pesar de esto, se evidenció que por causa de la expansión urbana los ecosistemas naturales disminuyen y con esto la presencia de especies nativas tal y como lo expone Divakara *et al.* (2022), aspecto que se puede observar en las recientes áreas verdes implementadas en la ciudad de Manta, las cuales están compuestas en su mayor proporción por especies exóticas (Arteaga y Casanova, 2018).

El 56% de las especies evaluadas son árboles introducidos, sobresaliendo sobre las demás la especie *Azadirachta indica* (37%), proveniente del sur de Asia. Se ha demostrado que esta especie no es apropiada para la implementación en áreas verdes debido a que presenta un comportamiento agresivo frente a otras especies, compitiendo por la humedad disponible en el suelo y provocando daños a la infraestructura civil (Cristancho, 2020). Además, es considerada una especie invasiva que se propaga de manera natural en la institución. De acuerdo con Dyderski y

Jagodzinski (2020) las especies introducidas pueden generar impactos negativos sobre la regeneración de árboles en zonas naturales, afectando la persistencia de los bosques. Por otra parte, Xie (2018) sugiere que el uso de especies introducidas en parques o áreas verdes es posible debido a que su principal importancia se centra en el potencial que tienen estas para cumplir una función ornamental y paisajística como ecosistema urbano. Sin embargo, la conservación de la biodiversidad cumple a diferentes niveles con la promoción de servicios ecosistémicos, relevando la importancia de implementar en los diseños de nuevas áreas verdes la inclusión de ejemplares nativos con el fin de conservar y promover la biodiversidad, sin dejar de considerar los aspectos ornamentales y paisajísticos (Kowarik *et al.*, 2020).

Las mediciones dendrométricas determinaron que la especie *Azadirachta indica*, tiene los ejemplares más altos y, por sus propias características, también tienen el mayor diámetro, así como mayor área basal y volumen. A pesar de lo anterior, en el área de estudio la variable más influyente para determinar las especies con mayor área basal y diámetro a 1.30 m fue la abundancia.

Por su parte, en las clases diamétricas y altimétricas la mayor proporción de especímenes estuvieron por debajo de los 90 cm de diámetro del tronco y 25 m de altura respectivamente. Las *figuras 3 y 4* demuestran una elevada cantidad de individuos juveniles, esto debido a los recientes esfuerzos de repoblar la institución con árboles. Los árboles

juveniles contrastan con los árboles adultos sembrados hace más de 10 años en las áreas verdes más antiguas.

Captura de CO₂

Para el análisis del secuestro de carbono la biomasa es un indicador importante, por lo tanto, estimar la biomasa en los árboles es el primer paso para contabilizar el carbono (Arroyave, 2018). En este sentido, se pudo estimar una biomasa forestal del arbolado de 7825.58 t, lo que resultó en 5354.43 t de carbono almacenado. A pesar de que la riqueza de especies arbóreas es amplia y que las densidades de madera varían según la especie, esta variable no se puede considerar como único criterio para analizar a las especies en diferentes grupos funcionales (Arroyave, 2018) y más bien será el conjunto de variables dendrométricas, la abundancia de las especies y el estado fisiológico de estas lo que determine la capacidad para almacenar carbono del arbolado.

Respecto a las especies que más capturan CO₂, fueron las más abundantes *Azadirachta indica*, *Prosopis spp* y *Samanea saman*. Si bien el 56% de las especies son introducidas, el arbolado urbano debería valorarse por el rol de los servicios ecosistémicos que ofrecen sobre el clima y la calidad del aire en áreas urbanas, independientemente de la categoría de las especies evaluadas (introducidas, nativas, endémicas). Estos servicios impactan de forma positiva sobre el bienestar y la salud física de las personas que se ven afectadas por la contaminación atmosférica en estas zonas (Kiss *et al.*, 2015). En este sentido, Arroyave

et al. (2019) demuestran que los árboles urbanos estudiados, además de secuestrar CO₂, eliminan contaminantes atmosféricos como el monóxido de carbono (CO), el dióxido de nitrógeno (NO₂), material particulado (PM_{2.5}), PM₁₀ y ozono (O₃). No obstante a esto, se ha señalado que el CO₂ emitido en las urbes, generado por el parque automotor, no es compensado por las áreas verdes urbanas (Farinango-Carlosama, 2020; Farinango, 2020; Virdo *et al.*, 2022).

A pesar de que la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí es una de las zonas más densamente pobladas de árboles en la ciudad, lo expuesto anteriormente sugiere que es necesario evaluar las emisiones de CO₂ generadas por el parque automotor en diferentes franjas horarias, debido a que en las horas pico suele aumentar el tráfico vehicular (Rojas *et al.*, 2018). Adicionalmente, se debe considerar la estratificación de las áreas céntricas y suburbanas, las cuales reciben diferentes aportes de CO₂ (Velasco *et al.*, 2016). De esta manera se podrá comprender mejor las relaciones entre los aportes de dióxido de carbono a la atmósfera y el potencial de capturar CO₂ del arbolado urbano.

En la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí varios elementos arbóreos han sido objeto de podas severas relacionadas con plagas, falta de mantenimiento y en algunos casos, por el tendido eléctrico, postes, redes de internet y cámaras de seguridad. De acuerdo con Gratani *et al.* (2016) el mantenimiento del arbolado es indispensable para evitar malas prácticas de poda, las cuales pueden reducir o anular el

secuestro de CO₂. Además, los costos asociados para la prevención del contacto de los árboles y las líneas eléctricas pueden ser enormes, por lo que la disminución de la probabilidad de tales casos debe ser primordial en el diseño de nuevas áreas verdes (Czaja *et al.*, 2020).

En varias zonas se observaron conflictos de diferentes especímenes relacionados con el levantamiento de aceras e invasión de las raíces a edificios y cisternas. Estos problemas requieren la remoción de estos especímenes, lo cual sin lugar a duda generará controversias motivadas porque la mayoría de estos individuos son adultos y los espacios de cobertura que proporcionan son bien aprovechados. A pesar de las discusiones que se puedan generar, lo correcto será erradicar estos árboles conflictivos y reemplazarlos, en la medida de lo posible, por especies aptas para estos espacios según lo planteado por Paganová y Vyhnáliková (2018).

Para mejorar el potencial de los servicios ecosistémicos que ofrecen las áreas verdes de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí se requiere implementar o mejorar las políticas que promueven la plantación de árboles, la conservación y modificación de espacios verdes urbanos y la arquitectura verde (Flores *et al.*, 2021). Por ende, será necesario obtener más información detallada de las áreas verdes urbanas para que los administradores puedan diseñar e implementar estrategias para maximizar la función ecológica del arbolado (Turner-Skoff y Cavender, 2019). Entonces, para generar áreas verdes más eficientes en la captura de dióxido de carbono, estas deberán

contar con árboles por sobre otro tipo de vegetación (Wang *et al.*, 2021). También, será importante incluir árboles en áreas grises para mejorar la sensación térmica (Wang *et al.*, 2021), así como, la inclusión de especies perennifolias, las cuales fijan más CO₂ durante el año, como lo expresa Velasco *et al.* (2016). Se deberá tener en consideración que a pesar de que el césped tiene un importante valor paisajístico, captan muy poco CO₂ por sus capacidades fisiológicas (Gratani *et al.*, 2016); por lo que se sugiere implementar cobertura arbórea en los sitios donde existe césped y donde se planifiquen espacios con esta vegetación. Sumado a esto, se ha determinado que el mal mantenimiento del arbolado urbano afecta la capacidad de estos especímenes para fijar CO₂; por ende, la planificación y el manejo de las áreas verdes es fundamental para conservar estos servicios ecosistémicos (Zucchetti *et al.*, 2020).

CONCLUSIONES

La Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí cuenta con una importante cantidad de árboles en sus áreas verdes, las cuales, bien gestionadas, contribuyen a la prestación de servicios ecosistémicos. Además, la alta densidad de árboles y ante la deficiente cantidad de áreas verdes en la ciudad, la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí se convierte en un sitio de vital importancia para la promoción del servicio de captación de carbono en el entorno urbano.

La falta de planificación en la implantación de áreas verdes, desarrollo de infraestructura y selección de ejemplares arbóreos son los

principales problemas que limitan el potencial del arbolado urbano en la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí para fijar CO₂; por lo que se puede entender que el potencial del arbolado irá disminuyendo en función de las labores de mantenimiento y retiro de ejemplares que generan conflictos con la infraestructura.

El estudio brinda información importante sobre el potencial de capturar de CO₂ por parte del arbolado de las áreas verdes de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí. Estos resultados aportarán a la comprensión de las relaciones de emisión y fijación de CO₂.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aalde, H., Gonzalez, P., Gytarsky, M., Krug, T., Kurz, W. A., Ogle, S., Raison, J., Schoene, D., Ravindranath, N. H., Elhassan, N. G., Heath, L. S., Higuchi, N., Kainja, S., Matsumoto, M., Sanz, M. J. y Somogyi, Z. (2006). Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra. En H.S. Eggleston, L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara y K. Tanabe (Eds), *Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero* (Vol. 4). Instituto para las Estrategias Ambientales Globales. <https://bit.ly/3ciocMV>
- Arroyave, M. (2018). *Estimación del crecimiento, la biomasa y la captura de carbono de tres especies arbóreas del bosque urbano en los municipios de Medellín y Envigado* [Tesis de Maestría, Universidad EIA]. Repositorio Institucional. <https://bit.ly/3c0CMbU>
- Arroyave, M. P., Posada, M. I. y Gutiérrez, M. E. (2014). *Catálogo virtual de flora del Valle de Aburrá*. Universidad EIA. <http://catalogofloravalleaburra.eia.edu.co>
- Arroyave, M., Posada, M. I., Nowak, D. J. y Hoehn, R. E. (2019). Remoción de contaminantes atmosféricos por el bosque urbano en el valle de Aburrá. *Colombia Forestal*, 22(1), 5-16. <https://doi.org/h4j2>
- Arteaga, N. y Casanova, K. (2018). *Valoración económica y ambiental del arbolado en la zona centro sur de Manta, tramo parque de la Madre – redondel de Barbasquillo* [Tesis de Grado no publicada]. Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí
- Brown, S. y Lugo, A. E. (1992). Above ground biomass estimates for tropical moist forests of the Brazilian Amazon. *Interciencia*, 17(1), 8-18. <https://bit.ly/3PIDfUS>
- Castillo-Ruperti, R. J., Rodríguez-Guerrero, B. y Bravo-Meza, K. (2022). Fijación de carbono (CO₂) del arbolado de los parques La Rotonda y La Madre, Manabí, Ecuador. *Revista Científica Multidisciplinaria Arbitrada Yachasun*, 6(10), 8-21. <https://doi.org/h4kq>
- Cristancho, F. A. (2020). *Propiedades y cualidades del árbol de Neem (Azadiractha indica a. juss) como especie promisorio en arreglos agroforestales* [Tesis de Grado, Universidad Nacional Abierta y a Distancia]. Repositorio Institucional. <https://bit.ly/3lyamIK>

- Czaja, M., Kołton, A. y Muras, P. (2020). The complex issue of urban trees-stress factor accumulation and ecological service possibilities. *Forest*, 11(9), 932. <https://doi.org/10.3390/f11090932>
- Danilina, N., Tsurenkova, K. y Berkovich, V. (2021). Evaluating urban green public spaces: The case study of Krasnodar Region cities, Russia. *Sustainability*, 13(24), 14059. <https://doi.org/h4kr>
- DatosMacro. (2020). *Ecuador - Emisiones de CO₂ en 2020*. Recuperado el 4 de enero de 2022 de <https://bit.ly/3ySVkDT>
- Divakara, B. N., Nikitha, C. U., Nölke, N., Tewari, V. P. y Kleinn, C. (2022). Tree diversity and tree community composition in northern part of megacity Bengaluru, India. *Sustainability*, 14(3), 1295. <https://doi.org/h4ks>
- Dyderski, M. K. y Jagodzinski, A. M. (2020). Impacts of alien tree species on the abundance and diversity of terricolous bryophytes. *Folia Geobotanica*, 55, 351–363. <https://doi.org/gn49t8>
- Edwards, P. J., Drillet, Z., Richards, D. R., Fung, T. K., Song, X. P., Leong, R. A. T., Gaw, L. Y. F., Yee, A. T. K., Quazi, S. A., Ghos, S. y Chua, K. W. J. (2020). Ecosystem services in urban landscapes: Benefits of tropical urban vegetation. Singapore-ETH Centre/Future Cities Laboratory. <https://bit.ly/3ytdxq7>
- Farinango, J. P. (2020). Determinación de la relación de emisión y captura de carbono en el arbolado de las avenidas de cuatro parroquias urbanas del cantón Ibarra [Tesis de Grado, Universidad Técnica del Norte]. Repositorio Institucional. <https://bit.ly/3nWmIKV>
- Farinango-Carlosama, J. N. (2020). *Estimación de la captura de carbono del arbolado urbano en la Cabecera cantonal de Otavalo, provincia de Imbabura* [Tesis de Grado, Universidad Técnica del Norte]. Repositorio Institucional. <https://bit.ly/3AGBZHH>
- Flores, K. L., García, F. E., Irigoien, Y. y Taype, C. A. (2021). *Los espacios verdes públicos y su influencia en la calidad de vida urbana en el distrito de Lurín, 2020*. *Arquitectura y Urbanismo Ambiental*, 24. <https://doi.org/10.21142/tb.2021.1966>
- Gratani, L., Varone, L. y Bonito, A. (2016). Carbon sequestration of four urban parks in Rome. *Urban Forestry & Urban Greening*, 19(1), 184-193. <https://doi.org/f882i8>
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. (2018). *Anuario de Estadísticas de Transporte 2017* [PDF]. <https://bit.ly/2P5yp3h>
- International Energy Agency. (2008). *World Energy Outlook: 2008*. OECD/IEA. <https://bit.ly/3ch6klr>

- Jumbo-Salazar, C. A., Arévalo, C. D. y Ramirez-Cando, L. J. (2018). Carbon measurement of the natural forest arbóreo stratum, Tinajillas-Limon Indanza, Ecuador. *La Granja*, 27(1), 49-61. <https://doi.org/h5jk>
- Kiss, M., Takács, A., Pogácsás, R. y Gulyás, A. (2015). The role of ecosystem services in climate and air quality in urban areas: Evaluating carbon sequestration and air pollution removal by street and park trees in Szeged (Hungary). *Moravian Geographical Reports*, 23(3). <https://doi.org/gf39td>
- Kowarik, I., Fischer, L. K. y Kendal, D. (2020). Biodiversity conservation and sustainable urban development. *Sustainability*, 12(12), 4964. <https://doi.org/10.3390/su12124964>
- Latinopoulos, D. (2022). Evaluating the importance of urban green spaces: a spatial analysis of citizens' perceptions in Thessaloniki. *Euro-Mediterranean Journal for Environmental Integration*. <https://doi.org/10.1007/s41207-022-00300-y>
- Muneroli, C. C. y Mascaró, J. J. (2010). Arborização urbana: uso de espécies arbóreas nativas na captura do carbono atmosférico. *Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana*, 5(1), 160-182. <https://doi.org/h4qb>
- Muñoz, M. E. y Vásquez, E. G. (2020). *Estimación del potencial de captación de carbono en los parques urbanos y emisiones de CO₂ vehicular en Cuenca, Ecuador* [Tesis de Grado, Universidad Politécnica Salesiana]. Repositorio Institucional. <https://bit.ly/3AGHQfU>
- Naciones Unidas. (1992). *Convención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático* (FCCC/INFORMAL/84*). Recuperado el 4 de enero de 2022 de <https://bit.ly/3AKAvM7>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2021). *Los bosques y el cambio climático*. Recuperado el 15 de diciembre de 2021 de <https://bit.ly/3yXx8jR>
- Orwa, C., Mutua, A., Kindt, R., Jamnadass, R. y Anthony, S. (2009). *Agroforestry Database: a tree reference and selection guide version 4.0*. World Agroforestry Centre. <https://bit.ly/3PjPa5l>
- Paganová, V. y Vyhnáliková, M. (2018). Pruning urban trees-type and quality according to arborist union standards. *Plants in Urban areas and landscape*, 29-34. <https://doi.org/h4qn>
- Pilozo, M. F. (2017). *Espacios Verdes en la Universidad Eloy Alfaro de Manabí: Importancia Ambiental e Influencia en el Bienestar de las personas* [Tesis de Grado, Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Ecuador]. Repositorio Institucional. <https://bit.ly/3yVJ8RI>
- Raihan, A., Begum, R. A., Mohd, M. N. y Pereira, J. J. (2021). Assessment of carbon stock in forest biomass and emission reduction potential in Malaysia. *Forests*, 12(10), 1294. <https://doi.org/10.3390/f12101294>

- Rojas, M. V., Caraballo, M. A., Álvarez, O. H. y Vivanco, S. (2018). Emisión de dióxido de carbono de vehículos automotores en la ciudad de Loja, Ecuador. *Revista CEDAMAZ*, 8(1), 23-29. <https://bit.ly/3uEGE8Z>
- Sharma, R., Pradhan, L., Kumari, M. y Bhattacharya, P. (2021). Assessment of carbon sequestration potential of tree species in Amity University Campus Noida. *Environmental Sciences Proceedings*, 3(1), 51. <https://doi.org/10.3390/IECF2020-08075>
- Turner-Skoff, J. B. y Cavender, N. (2019). The benefits of trees for livable and sustainable communities. *Plants, People, Planet*, 1(4), 323–335. <https://doi.org/10.1002/ppp3.39>
- Velasco, E., Roth, M., Norford, L. y Molina, L. T. (2016). Does urban vegetation enhance carbon sequestration? *Landscape and Urban Planning*, 148, 99–107. <https://doi.org/f8gh6g>
- Virido, J., Pittman, J., Bost, J., Bedwell, K., Thomson, V., Stewart, F., Otto, A., Sendall, J., Puciato, H. y Patel, R. (2022). *Pan-European City Rating and Ranking on Urban Mobility for Liveable Cities. Report for the Clean Cities Campaign, hosted by Transport & Environment* [PDF]. <https://bit.ly/3axOcU0>
- Wang, Y., Chang, Q. y Li, X. (2021). Promoting sustainable carbon sequestration of plants in urban greenspace by planting design: A case study in parks of Beijing. *Urban Forestry & Urban Greening*, 64, 127291. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2021.127291>
- Xie, Ch. (2018). Tree diversity in urban parks of Dublin, Ireland. *Fresenius Environmental Bulletin*, 27(12A), 8695-8708. <https://bit.ly/3OpcGgg>
- Zucchetti, A., Hartmann, N., Alcantara, T., Gonzales, P., Cánepa, M. y Gutierrez, C. (2020). *Infraestructura verde y soluciones basadas en la naturaleza para la adaptación al cambio climático. Prácticas inspiradoras en ciudades de Perú, Chile y Argentina*. Plataforma MiCiudad, Red AdaptChile y ClikHub. <https://bit.ly/3zoFzF7>

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a los estudiantes practicantes de la carrera de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí por su apoyo técnico para el registro de la información en campo.



Actividad minera en humedales altoandinos del Ecuador y la emisión de dióxido de carbono

Mining activity in high Andean wetlands of Ecuador and carbon dioxide emissions

Mineração nas zonas húmidas andinas elevadas do Equador e emissões de dióxido de carbono

Diana Astudillo Aguilar / Universidad Técnica de Ambato, Ecuador / dastudillo2729@uta.edu.ec

Recibido: 6/11/2021

Aceptado: 20/6/2022

Publicado: 8/7/2022

RESUMEN

Los humedales altoandinos son ecosistemas frágiles que, a pesar de ser primordiales en la lucha contra el cambio climático, se encuentran seriamente amenazados por la incursión de actividades mineras. En consecuencia, el objetivo de este trabajo fue analizar el impacto de la actividad minera en los humedales altoandinos y su relación con la emisión de dióxido de carbono. Para ello se realizó una revisión bibliográfica para obtener información relevante; se analizó la información documental y se examinó la correlación que existe entre el desarrollo de actividades extractivas en humedales altoandinos y la emisión de dióxido de carbono a la atmósfera. En cuanto a los resultados, se tuvo que el 26% de los humedales del país se encuentran concesionados, donde el desarrollo de actividades mineras podría liberar entre 252 705.96 y 1 023 245.60 t de CO₂ a la atmósfera, dependiendo del estado de conservación de cada humedal. Los humedales altoandinos poseen una gran capacidad para almacenar carbono, por lo que, tanto los principales impactos de la actividad minera como la remoción de la cobertura vegetal y la alteración del recurso suelo, se relaciona directamente con la liberación del carbono almacenado en forma de CO₂, que consecuentemente es emitido hacia la atmósfera.

Palabras clave: cambio climático, ecosistemas, servicios ecosistémicos

ABSTRACT

The high Andean wetlands are fragile ecosystems that, despite being essential in the fight against climate change, are seriously threatened by the incursion of mining activities. Consequently, the objective of this work was to analyze the impact of mining activity on high Andean wetlands and its relationship with carbon dioxide emissions. For this, a bibliographic review was carried out to obtain relevant information; documentary information was analyzed and the correlation between the development of extractive activities in high Andean wetlands and the emission of carbon dioxide into the atmosphere was examined. As for the results, we have that 26% of the country's wetlands are under concession, where the development of mining activities could release between 252 705.96 and 1 023 245.60 t of CO₂ into the atmosphere, depending on the state of conservation of each wetland. High Andean wetlands have a great capacity to store carbon, so both the main impacts of mining activity such as the removal of vegetation cover and the alteration of soil resources are directly related to the release of stored carbon in the form of CO₂, which is consequently emitted into the atmosphere.

Keywords: climate change, ecosystems, ecosystem services

RESUMO

As zonas úmidas do alto andino são ecossistemas frágeis que, apesar de essenciais no combate às mudanças climáticas, estão seriamente ameaçados pela incursão das atividades de mineração. Consequentemente, o objetivo deste trabalho foi analisar o impacto da atividade de mineração nas terras úmidas altas andinas e sua relação com as emissões de dióxido de carbono. Para isso, foi realizada revisão bibliográfica para obtenção de informações relevantes; foram analisadas informações documentais e examinada a correlação entre o desenvolvimento de atividades extrativistas em zonas úmidas altas andinas e a emissão de dióxido de carbono na atmosfera. Quanto aos resultados, temos que 26% das zonas úmidas do país estão sob concessão, onde o desenvolvimento das atividades de mineração poderia liberar entre 252 705.96 e 1 023 245.60 t de CO₂ na atmosfera, dependendo do estado de conservação de cada zona úmida. As terras úmidas do alto andino têm grande capacidade de armazenamento de carbono, de modo que tanto os principais impactos da atividade de mineração, como a remoção da cobertura vegetal quanto a alteração dos recursos do solo, estão diretamente relacionados à liberação de carbono armazenado na forma de CO₂, sendo consequentemente emitido para a atmosfera.

Palavras chave: ecossistema, mudanças climáticas, serviços ecossistêmicos

INTRODUCCIÓN

La *Convención Ramsar* considera los humedales altoandinos como ecosistemas frágiles que pueden verse gravemente afectados; ya sea por causas naturales o por la intervención humana, que incluye, entre otras actividades, la minería (World Wide Fund for Nature [WWF], 2005). Es por ello que en el artículo 406 de la Constitución de la República del Ecuador se reconoce a los humedales como tal y es el Estado el que debe garantizar su conservación, manejo y uso sustentable (Constitución de la República del Ecuador, 2008).

Los humedales altoandinos también son considerados ecosistemas estratégicos por su alta biodiversidad y productividad. Poseen, además, características físicas, químicas y biológicas únicas, que interactúan entre sí para dar lugar a funciones que proveen bienes y servicios de importancia para el ambiente; así como beneficios directos e indirectos para millones de personas (Corporación Nacional Forestal de Chile, 2015). Precisamente uno de los servicios ecosistémicos que proveen los humedales es la mitigación del calentamiento global, debido a la capacidad de estos ecosistemas para almacenar grandes cantidades de carbono como resultado de la descomposición lenta de la materia orgánica, suelos inundados y bajas temperaturas (Alvis-Ccoropuna *et al.*, 2021).

Para Cantos (2019) el desarrollo de la industria minera es de gran interés para los países debido al aporte económico que genera para el progreso, mediante la obtención de materias primas utilizadas en todo tipo de

procesos industriales. Como es bien sabido, toda actividad humana genera un impacto en el ambiente y la actividad minera no es la excepción; esta industria genera emisiones de gases de efecto invernadero durante todas las etapas del proceso, que de acuerdo con la Ley de minería de 2018 incluye las fases de: prospección, exploración, explotación, refinación, comercialización y cierre.

En Ecuador existe gran resistencia a la actividad minera, sobre todo si se realiza en ecosistemas de páramo y humedal. En varios lugares del país se han originado graves conflictos en defensa del agua y del resto los recursos naturales (Alvarado, 2021; Angamarca, 2020; Borja, 2017; La Hora, 2019; Montaña, 2021a; Montaña, 2021b; Riofrío, 2018). De acuerdo con el reporte de minería realizado por el Banco Central del Ecuador para el año 2019 se contaba con cinco proyectos mineros denominados estratégicos, de los cuales el proyecto *Río Blanco* y *Loma Larga* se encuentran ubicados en zonas de páramos y grandes complejos de humedales (Rea, 2017).

Dada la importancia de estos ecosistemas para la mitigación del cambio climático, el objetivo del presente ensayo fue analizar los impactos de la actividad minera en los humedales altoandinos del Ecuador y su relación con las emisiones de dióxido de carbono.

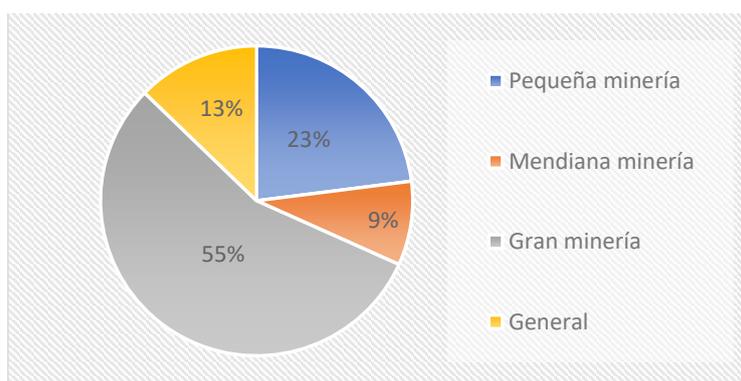
DESARROLLO

Para este trabajo se realizó una revisión bibliográfica que permitió obtener información secundaria relevante, se analizó la información

documental y se examinó la correlación que existe entre el desarrollo de actividades extractivas en humedales altoandinos y la emisión de dióxido de carbono a la atmósfera. Conforme al catastro minero con fecha de corte 2018, en el país existen 2 266 631 de hectá-

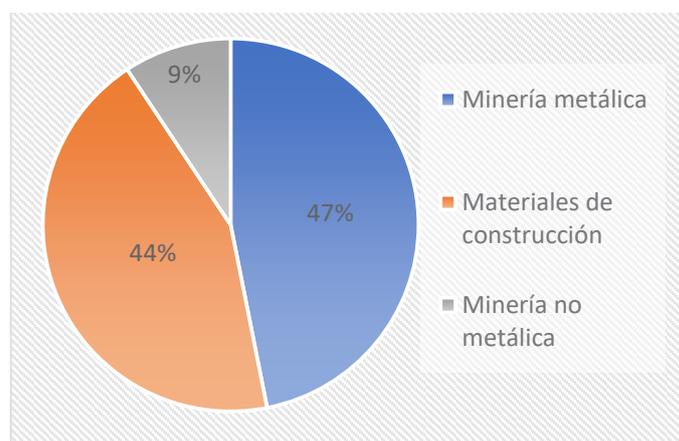
reas concesionadas (en trámite e inscritas), de las cuales el 55% corresponden al régimen de gran minería, tal como se observa en la *figura 1* (Agencia de Regulación y Control Minero [ARCOM], 2019).

Figura 1. Concesiones mineras.



Fuente: ARCOM (2019).

Figura 2. Tipo de minería.



Fuente: ARCOM (2019).

De acuerdo con el *Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero* elaborado por el Ministerio del Ambiente (MAE, 2016), la industria de minerales en el periodo 1994-2012 ha generado 4 571 72 Gg de CO₂ equivalente, que representan el 5.62% de las emisiones totales

de dióxido de carbono. Cabe señalar que en la *Tercera Comunicación Nacional del Ecuador* (MAE, 2017); únicamente se consideran en este sector las categorías de: producción de cemento; producción de cal; uso de caliza y dolomita; producción y uso de carbonato só-

dico; y producción de material asfáltico para techos y pavimentación asfáltica. Claramente, no existe información concreta sobre la extracción de minerales como oro, plata o cobre y su contribución a las emisiones de CO₂. Como se puede apreciar en la *figura 2* la extracción de minerales metálicos corresponde al 47% de todas las concesiones mineras del país.

La mayoría de las concesiones mineras del país se localizan en la región Sierra y hasta el año 2018 estaban registrados 64 títulos para explotación minera en zonas de humedales, que abarcan un área total de 172 094 ha (ARCOM, 2019). Estas concesiones mineras en todas sus etapas incrementan la emisión de GEI por la eliminación de la cobertura vegetal y el consumo de combustible para el funcionamiento de la maquinaria; así como por la emisión directa de CO₂ durante el procesamiento de minerales; que se estima en 1 kg de gases de efecto invernadero por cada kilogramo de metal producido (Alianza Mundial de Derecho Ambiental, 2010).

En Ecuador, de acuerdo con la Política de Ecosistemas Andinos, existen 59 humedales altoandinos con una extensión total de 661 309 ha, donde se incluyen las microcuencas. De esta extensión, 286 659 ha corresponden a sitios de *Importancia Internacional Ramsar* y de estos el 14% no cuenta con ninguna categoría de protección (MAE, 2009; 2015). Varios autores e instituciones internacionales como la *Convención Ramsar* coinciden en la gran capacidad que tienen los humedales altoandinos para almacenar carbono. Dicha capacidad se ve afectada como consecuencia de la degradación de estos ecosistemas; puesto que, por su alto grado de vulnerabilidad, son muy sus-

ceptibles a los cambios que se producen como consecuencia de las actividades antropogénicas (Calderón, 2018; Romero, 2017; WWF, 2005).

La valoración socioeconómica de los humedales altoandinos, realizada por Castro (2011) en el sistema de lagunas de Oña-Nabón-Saraguro-Yacuambi y el frente suroccidental de Tungurahua, estima que el valor económico de la provisión de servicios ambientales de estos ecosistemas asciende a USD 28 719 766 en estado natural, mientras que se pierde el 75% de su valor económico en estado de intervención. Además, concluye que la capacidad de estos humedales para emitir CO₂ a la atmósfera es de 1 469 835.3 t; observándose su potencial de aportar significativamente a la problemática ambiental como resultado de la intervención de estos ecosistemas naturales. La alteración drástica de los humedales altoandinos provocada por la actividad minera mediante la remoción total de la cobertura vegetal, apertura de caminos, excavación, movimiento de tierras, uso de maquinaria pesada, desvío de los cursos naturales de agua, compactación del terreno, instalación de infraestructura, entre otras actividades; provocan impactos negativos que afectan de forma significativa las funciones de estos ecosistemas y los servicios ambientales que proveen, entre ellos el almacenamiento de carbono, perdiendo también su valor ecológico y económico (Noreña, 2013; Valencia y Figueroa, 2014; Fundación Ambiente y Recursos Naturales, 2021).

Para Ávila (2022) las actividades mineras destruyen la biodiversidad, impiden la autorregulación del ecosistema y la interrelación que se requiere para cumplir sus funciones. Por lo

anterior, la ejecución de proyectos mineros en ecosistemas vulnerables como los humedales altoandinos sobrepasan su capacidad de carga y alteran de forma permanente su función de almacenar carbono, causando que el carbono del suelo y la biomasa sea liberado a la atmósfera en forma de CO₂ (Llambí *et al.*, 2012; Valencia y Figueroa, 2014). Es importante destacar que a nivel regional y nacional se incluyen políticas para la protección de los humedales altoandinos como medida ante la adaptación al cambio climático. En otros países de la región existen experiencias interesantes en cuanto al manejo de ecosistemas andinos que podrían servir de referencia. No obstante, para que la aplicación de estas herramientas resulte efectiva se hace necesario que exista una articulación interinstitucional en todos los niveles de gobierno y que la participación social comunitaria se fortalezca, de tal manera que se vincule a toda la sociedad en la protección de ecosistemas claves como son los humedales altoandinos.

El estudio realizado por Alvis-Ccoropuna *et al.* (2021), determinó que el carbono almacenado en el humedal altonadino de Chalhuanca en Perú fue de aproximadamente 795 415.65 toneladas de CO₂. En dicho estudio se constató que las mayores reservas de carbono se encuentran en la biomasa aérea, seguido por suelo y la biomasa debajo del suelo. Además, destaca la importancia de estos ecosistemas por el alto valor económico y social que representa el almacenamiento de carbono, así como su relevancia desde el punto de vista del cambio climático. En comparación con el estudio realizado por Castro (2011), los humedales altoandinos de Tungurahua y la región Sur del

país pueden almacenar 400 864.17 toneladas de CO₂ teniendo en cuenta únicamente el carbono orgánico del suelo. Por otro lado, la industria minera a pesar de los graves impactos que causa al ambiente se considera fundamental para la generación de energías renovables, debido a que minerales como el hierro, cobre, litio o cobalto se utilizan para la fabricación de baterías fotovoltaicas, que permiten el funcionamiento de paneles solares, turbinas eólicas y autos eléctricos (Rueda, 2020). Mientras que Romero (2017) considera que es posible la implementación de acciones que eviten, corrijan o mitiguen los impactos negativos de la actividad; lo que implica una minería responsable y respetuosa con el ambiente.

Frente a este panorama complejo es necesario que a nivel local, nacional y regional los esfuerzos por conservar estos ecosistemas sean la prioridad de toda política pública, ya que forman parte del patrimonio natural y contribuyen significativamente a la mitigación del cambio climático. Es por ello que la *Convención Ramsar* enfatiza en mantener y promover las funciones ecológicas de los humedales (Saavedra, 2019), dado que año tras año se siguen perdiendo grandes extensiones de producto a la actividad minera, por lo que su degradación se ha acelerado inevitablemente y con ello los impactos que genera en el cambio climático a nivel planetario.

CONCLUSIÓN

Producto a la actividad minera en zonas de humedales altoandinos, principalmente por la remoción de la cobertura vegetal y la alteración del recurso suelo, se libera el CO₂ almacenado en el suelo y la biomasa, generando un

aumento en las emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera. Es por ello que los humedales altoandinos son considerados como ecosistemas importantes en la lucha contra el cambio climático por su gran capacidad de almacenamiento de carbono, gracias

a sus características singulares. Sin embargo, actividades extractivas como la minería provocan la degradación acelerada de estos ecosistemas y por ende la pérdida de esta función valiosa para la mitigación del cambio climático.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agencia de Regulación y Control Minero. (2019). *Catastro minero WGS84* [Formato Vectorial]. <https://bit.ly/3Ncclwx>
- Alianza Mundial de Derecho Ambiental. (2010). *Guía para evaluar EIAs de proyectos mineros* (1.ª ed.). <https://bit.ly/3mmBNnE>
- Alvarado, A. C. (29 de noviembre de 2021). *Josefina Tunki: «Si hay que morir en la defensa del territorio, hemos de morir»*. Portal GK. <https://bit.ly/3yeoi0p>
- Alvis-Ccoropuna, T., Villasante-Benavides, J. F., Pauca-Tanco, G. A., Quispe-Turpo, J. P. y Luque-Fernández, C. R. (2021). Cálculo y valoración del almacenamiento de carbono del humedal altoandino de Chalhuanca, Arequipa (Perú). *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 23(3), 139-148. <https://bit.ly/2Y9gu0v>
- Angamarca, M. (24 de agosto de 2020). *Gualel es mi tierra natal*. Foro de los Recursos Hídricos. Consorcio Camaren. <https://bit.ly/3rKBoiA>
- Ávila, R. (9 de marzo de 2022). Análisis de la sentencia Constitucional 22-18IN/21 caso manglares y consulta ambiental. Seminario web Justicia ambiental, precedentes constitucionales y análisis jurídico del caso Fierro Urco. [Facebook]. <https://bit.ly/3MGW17n>
- Banco Central del Ecuador. (2019). *Reporte de minería*. Dirección Nacional de Síntesis Macroeconómica. <https://bit.ly/2Ycc8pi>
- Borja, C. J. (2017). *El ejercicio del derecho a la resistencia a los proyectos mineros en la provincia Bolívar. Aportes para una discusión plural de sus formas. El caso del proyecto minero Curipamba sur* [Tesis de Maestría, Universidad Andina Simón Bolívar]. Repositorio Institucional. <https://bit.ly/3xKSnDw>
- Calderón, M. J. (2018). *Oferta hídrica, almacenamiento de agua y carbono en dos escenarios altoandinos del páramo de Mojanda-Ecuador* [Tesis de Maestría, Universidad de La Plata] Repositorio Institucional. <https://bit.ly/2ZLT41X>

- Cantos, J. E. (2019). *Incidencia ambiental de actividades mineras por emisiones a la atmósfera: El caso de Manabí (Ecuador)*. [Tesis de Maestría, Universidad de Sevilla]. Repositorio Institucional. <https://bit.ly/3bp17I7>
- Castro, M. (2011). *Una valoración económica del almacenamiento de agua y carbono en los bofedales de los páramos ecuatorianos: La experiencia en Oña-Nabón-Saraguro-Yacuambi y el frente Suroccidental de Tungurahua*. Integraf. <https://bit.ly/3u0jGJ3>
- Constitución de la República del Ecuador [Const]. Artículo 406. 20 de octubre de 2008. (Ecuador). <https://bit.ly/3F5qWai>
- Corporación Nacional Forestal de Chile. (2015). *Plan de acción para la conservación y uso sustentable de humedales altoandinos*. <https://bit.ly/3nbbO3s>
- Fundación Ambiente y Recursos Naturales. (2021). *Conservación de humedales altoandinos y una minería de litio ajustada a estándares sociales y ambientales*. Fundación Yuchán/Wetlands International. <https://bit.ly/3y7QwKC>
- La Hora. (29 de agosto de 2019). *Loja: Marcha le dice no a la minería metálica*. <https://bit.ly/3uOEGPL>
- Ley 45 de 2018. Ley de minería. 29 de enero de 2009. Registro Oficial Suplemento 517. <https://bit.ly/3xOQgjS>
- Llambí, L. D., Soto-W, A., Célleri, R., de Bievre, B., Ochoa, B. y Borja, P. (2012). *Ecología, hidrología y suelos de páramos. Monsalve Moreno*. <https://bit.ly/3bpPAId>
- Ministerio del Ambiente de Ecuador. (2009). *Política de ecosistemas andinos de Ecuador*. Dirección Nacional Forestal/Dirección de Biodiversidad. <https://bit.ly/3A21Y81>
- Ministerio del Ambiente de Ecuador. (2015). *Sitios Ramsar*. Sistema Nacional de Áreas Protegidas del Ecuador. <https://bit.ly/3A24MSB>
- Ministerio del Ambiente del Ecuador. (2016). *Inventario nacional de gases de efecto invernadero del Ecuador*. Proyecto Tercera Comunicación Nacional sobre Cambio Climático y Primer Informe Bienal de Actualización (TCN/IBA). <https://bit.ly/3uBfkqJ>
- Ministerio del Ambiente del Ecuador. (2017). *Tercera Comunicación Nacional del Ecuador sobre Cambio Climático*. <https://bit.ly/3a2BBnP>
- Montaño, D. (2 de diciembre de 2021). *Corte Constitucional falla a favor del Bosque Protector Los Cedros. Te explicamos*. Portal GK. <https://bit.ly/38nQh3r>

- Montaño, D. (7 de febrero de 2021). *En Cuenca, el Sí contra las actividades mineras ganó en la consulta popular*. Portal GK. <https://bit.ly/3OEPhbU>
- Noreña, C. (2013). *Plan de restauración y mitigación de impactos ambientales en explotación legal de oro de aluvión en el municipio de Norcasia (Caldas)*. [Tesis de Grado, Universidad de San Buenaventura]. Repositorio Institucional. <https://bit.ly/3uAuAnQ>
- Rea, A. R. (2017). Política minera y sostenibilidad ambiental en Ecuador. *Investigación y Desarrollo*, 2(2), 41-52. <https://bit.ly/3A2Smxz>
- Riofrío, I. (16 de mayo de 2018). *Ecuador: Manifestación contra proyecto minero Río Blanco termina en enfrentamientos*. Mongabay. <https://bit.ly/3vNvD4P>
- Romero, A. M. (2017). *Revisión de la afectación de la actividad minera en ecosistemas de páramo a nivel ecológico* [PDF]. Repositorio Universidad Militar Nueva Granada. <https://bit.ly/3bkqieE>
- Rueda, A. (2020). *Minería de metales clave para energías renovables amenaza Latinoamérica*. Scidev.Net. <https://bit.ly/3vPYPIv>
- Saavedra, B. (2019). *Humedales de Chile, 40 mil reservas de vida*. Wildlife Conservation Society. <https://bit.ly/3Kobnff>
- Valencia, M. P. y Figueroa, A. (2014). Vulnerabilidad de humedales altoandinos ante procesos de cambio: tendencias del análisis. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 14(26), 29-42. <https://bit.ly/3OIJKeq>
- World Wide Fund for Nature. (2005). *Los humedales altoandinos. Ecosistemas estratégicos y frágiles que ofrecen servicios ambientales para el bienestar de millones de personas*. <https://bit.ly/39Y4Eg2>

AGRADECIMIENTOS

Agradezco profundamente a la Universidad Técnica de Ambato y a la Revista Iberoamericana Ambiente y Sustentabilidad por la oportunidad brindada para la publicación del presente trabajo. También quiero agradecer al docente Yordanis Puerta de Armas por sus enseñanzas y su excelente guía en la conclusión de mi ensayo. Muchas gracias de todo corazón.



Nivel de contaminación microbiana del aire en un taller agroindustrial y sus posibles riesgos laborales

Level of microbial contamination of the air in an agro-industrial workshop and its possible occupational risks

Nível de contaminação microbiana do ar em uma oficina agroindustrial e seus possíveis riscos ocupacionais

Holanda Teresa Vivas Saltos / Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López / teresa.vivas@espam.edu.ec

Sulay Katherine Marcillo García / Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López / sulykathmarga@gmail.com

Diana Margarita Zambrano Zambrano / Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López / dianazambrano030@gmail.com

María Fernanda Pincay Cantos / Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López / maria.pincay@espam.edu.ec

José Manuel Calderón Pincay / Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López / jose.calderon@espam.edu.ec

Recibido: 3/2/2022

Aceptado: 25/9/2022

Publicado: 23/10/2022

RESUMEN

La finalidad de esta investigación fue identificar las bacterias presentes en el aire circundante de un taller agroindustrial y sus posibles riesgos ocupacionales. Se procedió a la caracterización de las actividades que se desarrollan en el taller, ubicado en el cantón Bolívar, provincia Manabí, Ecuador, mediante la aplicación de entrevistas semiestructuradas y la observación directa. Posteriormente, se determinó el grado de contaminación bacteriana aplicando el monitoreo ambiental; se ejecutaron dos muestreos en siete puntos. La recolección de bacterias se realizó mediante sedimentación por gravedad; para determinar las posibles enfermedades que estas pueden provocar, se identificaron los microorganismos recolectados empleando agar *Petrifilm Staph Express* para *Staphylococcus aureus* y agar cristal violeta-rojo neutro-bilid-glucosa para Enterobacte-

rias. La mayor carga microbiana se presentó en el despacho con 270 UFC/m³ de aire. El *muestreo 1* alcanzó hasta 848 UFC/m³, considerándose contaminado, y en el *muestreo 2* la carga bacteriana fue de 550 UFC/m³, resultando poco contaminado. No existen cepas de *Staphylococcus aureus*, aunque hay presencia de *Enterobacter aeroneges* en las áreas de ingreso de materia prima y almacenamiento de hielo. Por ello se concluyó que, de no existir adecuadas medidas de higiene, el personal es susceptible a contraer infecciones a causa de *Enterobacter aeroneges*.

Palabras clave: bacteria, contaminación microbiológica, enfermedades, enterobacter

ABSTRACT

The purpose of this research was to identify the bacteria present in the surrounding air of an agro-industrial workshop and their possible occupational risks. We proceeded to characterize the activities that take place in the workshop, located in Bolívar canton, Manabí province, Ecuador, through the application of semi-structured interviews and direct observation. Subsequently, the degree of bacterial contamination was determined by applying environmental monitoring; two samplings were carried out at seven points. Bacterial collection was performed by gravity sedimentation. To determine the possible diseases that these can cause, the collected microorganisms were identified using *Petrifilm Staph Express* agar for *Staphylococcus aureus* and crystal violet-red neutral-bilid-glucose agar for Enterobacteriaceae. The highest microbial load was found in the office with 270 CFU/m³ of air. Sampling 1 reached up to 848 CFU/m³, being considered contaminated, and in sampling 2 the bacterial load was 550 CFU/m³, resulting in little contamination. There are no strains of *Staphylococcus aureus*, although there is a presence of *Enterobacter aeroneges* in the raw material entry and ice storage areas. For this reason, it was concluded that, if there are no adequate hygiene measures, the personnel is susceptible to contracting infections due to *Enterobacter aeroneges*.

Keywords: bacterium, diseases, enterobacter, microbiological contamination

RESUMO

O objetivo desta pesquisa foi identificar as bactérias presentes no ar circundante de uma oficina agroindustrial e seus possíveis riscos ocupacionais. Procedemos à caracterização das atividades que acontecem na oficina, localizada no cantão Bolívar, província de Manabí, Equador, por meio da aplicação de entrevistas semiestruturadas e observação direta. Posteriormente, foi determinado o grau de contaminação bacteriana por meio da aplicação de monitoramento ambiental; foram realizadas duas amostragens em sete pontos. A coleta bacteriana foi realizada por sedimentação por gravidade. Para determinar as possíveis doenças que estes podem causar, os microrganismos coletados foram identificados usando ágar *Petrifilm Staph Express* para *Staphylococcus aureus* e ágar cristal violeta-vermelho-bilida-glicose neutra para Enterobacteriaceae. A maior carga microbiana foi encontrada no consultório com 270 UFC/m³ de ar. A amostragem 1 atingiu até 848 UFC/m³, sendo considerada contaminada, e na amostragem

2 a carga bacteriana foi de 550 UFC/m³, resultando em pouca contaminação. Não há cepas de *Staphylococcus aureus*, embora haja a presença de *Enterobacter aeroneges* nas áreas de entrada de matéria-prima e armazenamento de gelo. Por esse motivo, concluiu-se que, se não houver medidas de higiene adequada, o pessoal fica suscetível a contrair infecções por *Enterobacter aeroneges*.

Palavras chave: bactérias, contaminação microbiológica, doenças, enterobacter

INTRODUCCIÓN

Se estima que a nivel mundial el efecto de la contaminación del aire sobre la esperanza de vida es más del doble que los efectos combinados de la contaminación del agua, el suelo y la contaminación ocupacional (Moellin y Broecker, 2020). Referente a la contaminación atmosférica de origen biológico, los microorganismos aerotransportados son omnipresentes en el entorno y gradualmente se convierten en objeto de investigación, puesto que estos microorganismos desempeñan un papel vital en la salud humana, la química atmosférica, los procesos de nucleación y las interacciones de los ecosistemas (Zhai *et al.*, 2018).

Varias especies o cepas bacterianas tienen una alta tolerancia a la baja temperatura, la irradiación ultravioleta y otros factores de estrés ambiental, que se pueden encontrar en la atmósfera; estas características bacterianas permiten la presencia de bacterias en la estratosfera y el transporte intercontinental a lo largo de miles de kilómetros (Ruiz *et al.*, 2020). Por otra parte, se ha demostrado el impacto del aire exterior en la calidad del aire en interiores, dado que los contaminantes del aire exterior podrían penetrar en interiores junto con el aire infiltrado en un edificio con ventilación natural; por lo que se ha determinado que las comunidades de

bacterias en el interior son similares a aquellas del aire exterior (Zhou *et al.*, 2021).

El aire interior nunca queda libre de microorganismos/esporas, de hecho, los factores abióticos como la temperatura, la humedad, el aislamiento, los equipos de circulación de aire y el mantenimiento de los conductos regulan el aire interior y la supervivencia de los contaminantes biológicos, además, se ha reportado que los elementos de ventilación (ventiladores y acondicionadores de aire) generalmente están colonizados por hongos (*Aspergillus*, *Penicillium*, *Phialophora* y *Geotrichium*), bacterias y levaduras (Kumar *et al.*, 2021). La relevancia científica de conocer la calidad del aire interior radica en que estos lugares actúan como reservorio de patógenos, que luego se transfieren a otros individuos, por ejemplo, administradores, trabajadores y visitantes al toser, estornudar, hablar y otras actividades humanas (Moldoveanu, 2015).

Desde una perspectiva social, la calidad del aire interior se ve afectada por la presencia de microorganismos que incluyen bacterias, mohos y virus; mientras que las personas pasan entre el 80 y 90% de su tiempo en ambientes interiores, respirando un promedio de 14 m³ de aire por día. A partir de esto, en los últimos años ha existido un creciente

interés en los estudios sobre los microorganismos presentes en el aire interior, lo cuales son capaces de afectar la salud humana, causando principalmente enfermedades en las vías respiratorias superiores e inferiores al inducir reacciones de hipersensibilidad inmediata, otros tipos de respuestas inmunológicas o infección. También pueden actuar como posibles irritantes e incluso como toxinas, siendo los principales responsables de la mortalidad y la morbilidad entre los huéspedes susceptibles (Fu *et al.*, 2021).

Por otra parte, es probable que los seres humanos y el aire exterior sean los principales vectores de transporte de microorganismos (Fujiyoshi *et al.*, 2017). Por tanto, el estudio de las bacterias aerotransportadas en ambientes al aire libre tiene relevancia tanto para la salud pública como para el desarrollo de diversas actividades de carácter antrópico como los procesos agroindustriales (Ruiz-Gil *et al.*, 2020).

En el casco urbano de la ciudad de Calceta, poblado más cercano al taller objeto de estudio, se determinó que existe una concentración elevada de bacterias en el aire (de hasta 948.22 UFC/m³) (Vivas *et al.*, 2021). Además, en el taller de procesos agroindustriales, se desarrolla el procesamiento de lácteos, cárnicos, harinas, balanceados, frutas y vegetales. Bajo tales antecedentes, el desarrollo de esta investigación busca responder el planteamiento de la siguiente hipótesis: las actividades que se llevan a cabo en el taller propician condiciones para la proliferación de bacterias que afectan la salud de las personas que laboran en dicho lugar. Para ello se plantearon los siguientes

objetivos: caracterizar las actividades que se desarrollan en el taller, determinar el grado de contaminación microbiológica y describir el riesgo para la salud del personal por la presencia de bacterias. La estrategia metodológica aplicada responde a un enfoque mixto, a continuación se detalla el proceso y las técnicas empleadas.

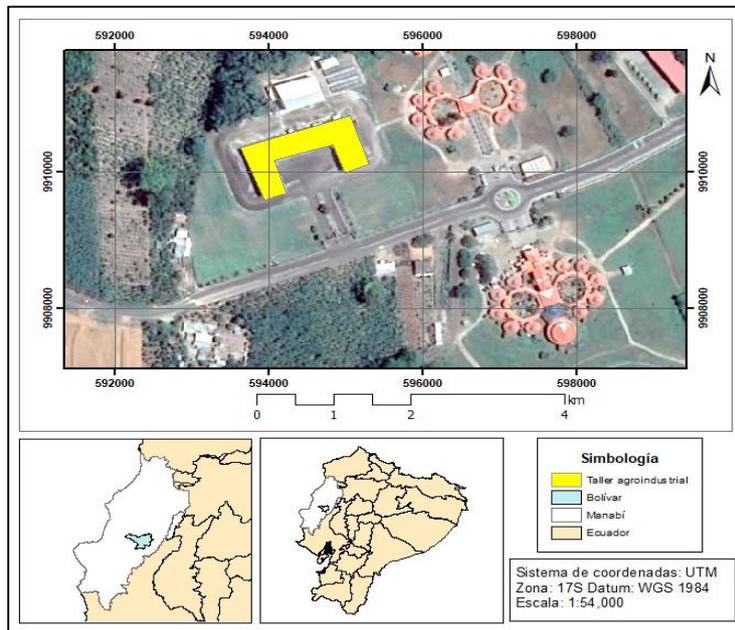
MATERIALES Y MÉTODOS

Este estudio presenta un enfoque mixto, puesto que incluye diferentes características tanto del enfoque cuantitativo como del enfoque cualitativo, además, se ha fijado el alcance de la investigación de tipo descriptivo. En este contexto, las variables bajo análisis comprenden: el nivel de contaminación microbiana del aire y sus posibles riesgos laborales, variables que fueron definidas acorde a criterios de Sáez (2017) dado que, no existen criterios técnicos aplicables al ambiente industrial o a espacios de interior para evaluar los contaminantes biológicos; los cuales muestran una amplia variabilidad de características según su propia naturaleza. En lo referente al procedimiento para analizar los datos, se tomaron como fundamento resultados de investigaciones relacionadas con el tema de estudio.

Área de estudio

Esta investigación se realizó en el taller de procesos agroindustriales del cantón Bolívar, provincia Manabí, Ecuador; ubicado en las coordenadas 590434.36 E, 9908547.72 N (*figura 1*). Según la clasificación de Holdridge el área se encuentra en la región subhúmeda tropical (Sistema Nacional de Información, 2012).

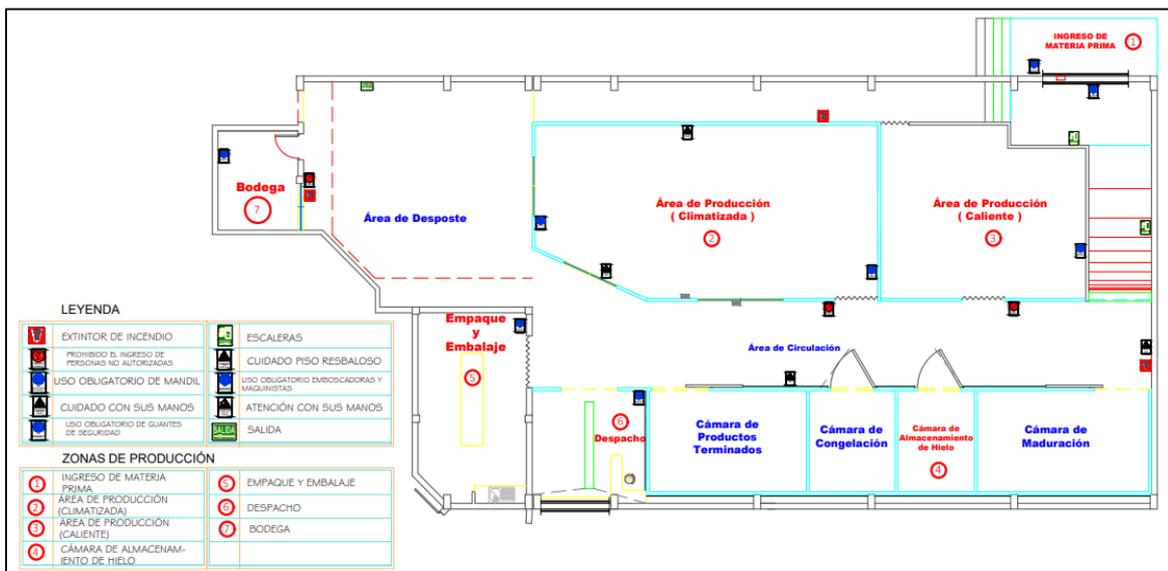
Figura 1. Ubicación geográfica del taller de procesos agroindustriales.



Fuente: Elaboración propia.

En la figura 2 se detalla la distribución de las áreas de proceso del taller, puntualizando la infraestructura interna y la señalética de bioseguridad, lo cual constituyó un insumo importante para el establecimiento de los puntos de monitoreo.

Figura 2. Orientación de las diferentes áreas del taller agroindustrial.



Fuente: Elaboración propia.

Caracterización de las actividades que se desarrollan en el taller de procesos agroindustriales

Mediante la aplicación de entrevistas semiestructuradas y la observación directa, se obtuvieron los datos básicos del taller objeto de estudio (días laborables, horarios, equipos de protección personal utilizados, higiene y desinfección); identificando las actividades realizadas en las diferentes áreas de trabajo (Feria *et al.*, 2020).

Determinación del grado de contaminación bacteriana

Se realizaron dos muestreos aplicando el método pasivo por sedimentación en placa. Para esto se prepararon los medios de cultivos selectivos, empleando la técnica de sedimentación por gravedad. Tomando en cuenta los procesos productivos del taller, se establecieron los puntos de monitoreo (*tabla 1*), en cada punto se colocaron tres cajas Petri. Se ejecutaron dos muestreos según lo propuesto

Tabla 1. Lista de los puntos de monitoreo establecidos.

Punto	Área
1	Ingreso de materia prima
2	Área de producción (climatizada)
3	Área de producción (caliente)
4	Cámara de almacenamiento de hielo
5	Empaque y embalaje
6	Despacho
7	Bodega

Fuente: Elaboración propia.

por Romero *et al.* (2016); el *muestreo 2*, se realizó transcurridos 15 días después del primero (Pérez *et al.*, 2016).

La identificación de bacterias se realizó siguiendo el método de ensayo establecido en la Norma Técnica Ecuatoriana 1529-1:2013 (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2013) para la preparación de medios de cultivo selectivo (medio sólido), el cual se fundamenta en la capacidad de las enterobacterias de producir ácidos a partir de la glucosa, y utiliza la técnica del recuento en placa por siembra en profundidad. La recolección de bacterias se llevó a cabo mediante la técnica de sedimentación por gravedad, adaptando la metodología de Silva (2018). Las cajas

Petri (con el medio de cultivo) se expusieron abiertas durante 30 minutos; posteriormente se sellaron herméticamente y se ubicaron en un contenedor aislante de poliestireno expandido para ser trasladadas al laboratorio de microbiología donde se llevó a cabo la identificación de bacterias.

Las condiciones de inoculación se efectuaron siguiendo lineamientos expuestos por Brągoszewska *et al.* (2020); estableciéndose una temperatura de 37 °C por 48 horas para bacterias totales. Al finalizar la inoculación de bacterias, se llevó a cabo el conteo de colonias en un contador *BOECO* y los recuentos se expresaron según el método pasivo por sedimentación en placa, representado

por la ecuación 1. Los recuentos totales de bacterias se compararon con criterios determinantes (tabla 2) de la contaminación de microorganismos para un espacio explícito (Andualet *et al.*, 2019)

$$N = \frac{NC \times 25}{T} \quad (1)$$

Donde:

N = UFC/m³ de aire

NC = Número de colonias

T = Tiempo (minutos)

Tabla 2. Criterios empleados para establecer el grado de contaminación del aire en el taller de procesos agroindustriales.

Niveles de contaminación	Concentración de microorganismos (UFC/m ³ de aire)
Muy baja	25
Baja	26 – 100
Intermedia	101 – 500
Alta	501 – 2000

Fuente: Andualet *et al.* (2019).

Identificación del riesgo para la salud del personal por la presencia de bacterias

Para medir bacterias, el recuento de colonias en medios de cultivo celular sólidos es uno de los métodos más tradicionales y ampliamente utilizados (Park *et al.*, 2014). Esta etapa inició con la identificación de los microorganismos recolectados, mediante la preparación de agares según la Norma Técnica Ecuatoriana 1529-1:2013 (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2013) con diferente uso y propósito de identificación (tabla 3); para bacterias *Staphylococcus aureus* (PetriFilm Staph Express) y para Enterobacterias (agar cristal violeta-rojo neutro-bilid-glucosa).

Para tal propósito se prepararon diluciones a concentraciones de 10x1, 10x2 y 10x3 con agua peptonada (método de Listeria) para las dos siembras, tomando una repetición al azar de cada punto de muestreo. Para realizar el conteo en *Staphylococcus aureus* se aplicó el recuento en placa por siembra en profundidad basado en la Norma Internacional de la Association of Analytical Communities método oficial 2003:11 (ecuación 2); mientras que el recuento de Enterobacterias se hizo por siembra en profundidad acorde a lineamientos de la Norma Técnica Ecuatoriana 1529-1:2013 (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2013) (ecuación 3).

$$N = \text{Número de colonia de un cuadro representativo} * 30 \quad (2)$$

$$N = \frac{\text{Número total de colonias encontradas o calculadas}}{\text{Cantidad total de muestra sembrada}} \quad (3)$$

Tabla 3. Criterios de identificación de bacterias según características de las colonias.

Familia	Microorganismos	Características morfológicas
Enterobacteriaceae	<i>Escherichia coli</i>	Colonias con precipitado
	<i>Klebsiella pneumoniae</i>	Rosadas, cremosas y mucosas
	<i>Salmonella typhimurium</i>	Colonias incoloras
	<i>Enterobacter aerogenes</i>	Colonias rosas
	<i>Proteus mirabilis</i>	Incoloras transparentes
	Staphylococcaceae	<i>Staphylococcus aureus</i>

Fuente: Course Hero (2022).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

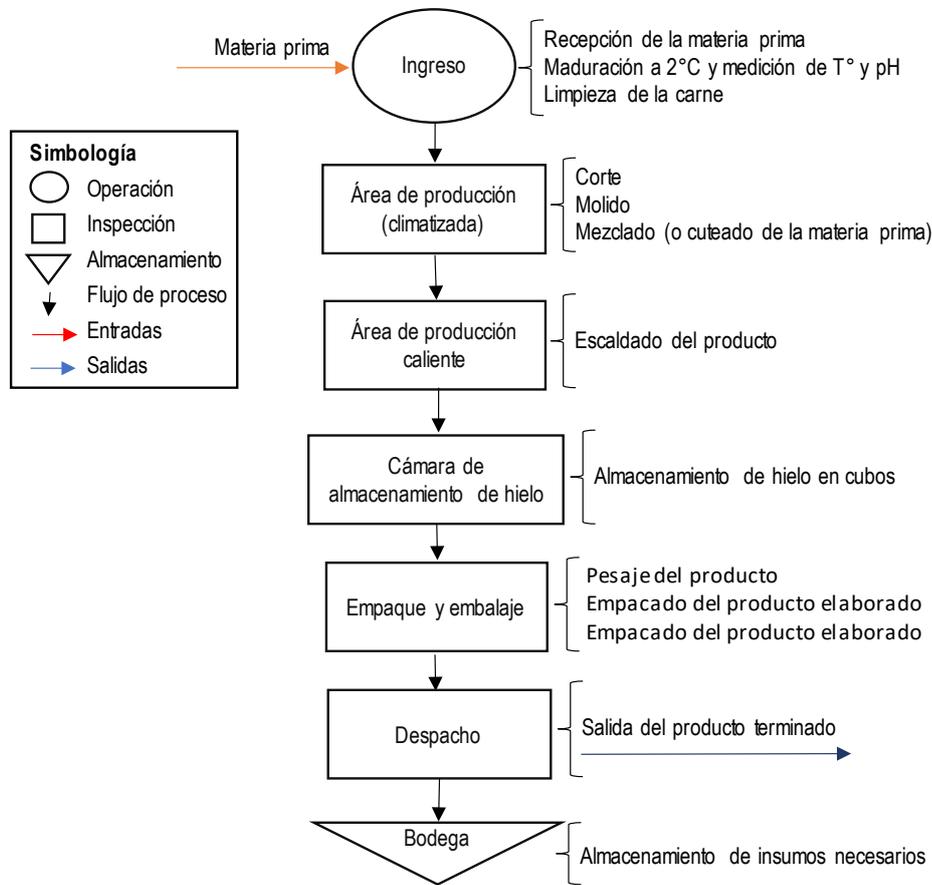
Caracterización de las actividades que se desarrollan en el taller de procesos agroindustriales

El área del taller agroindustrial es de 363 m²; cuenta con tres puertas de acceso y cuatro ventanas; el techo está cubierto de láminas de policarbonato y el piso tiene recubrimiento de pintura epóxica; además, cuenta con seis extractores de aire eólico y servicios básicos (agua potable y electricidad). En la *figura 3* se detalla el flujo de los procesos que se desarrollan en el taller, donde se evidencia que ciertas actividades requieren de variabilidad de temperatura, lo que permite la presencia de diversos microorganismos en el aire; pues según el *Department of Agriculture* (2017) la temperatura es un factor esencial para el desarrollo de microorganismos como los psicrotróficos

(< 100°C), ambientales (10-25 °C), mesófilos (35-37°C) y termófilos (45 °C).

El horario de trabajo es de lunes a viernes desde las 8:00 y hasta las 17:00 horas. Los equipos de protección personal utilizados incluyen: mandil, botas, cofia, guantes y mascarilla; además, el taller cuenta con señaléticas de seguridad (información, advertencia, seguridad y peligro). Asimismo, en las instalaciones del taller existen botiquines de primeros auxilios y extintores. En cuanto a la higiene, limpieza y desinfección de las instalaciones se realiza dos veces al día durante los cinco días laborables. Los equipos y materiales se desinfectan diariamente y los extractores de aire eólicos se limpian cada seis meses; cabe indicar que el personal que realiza la limpieza utiliza los equipos de protección personal apropiados para la prevención de los riesgos y protección de su salud.

Figura 3. Diagrama de proceso de actividades de cada área del taller agroindustrial.



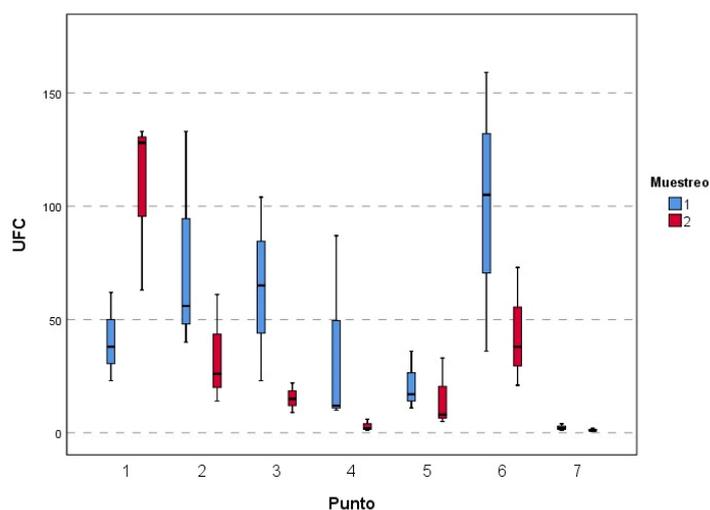
Fuente: Elaboración propia.

Determinación del grado de contaminación bacteriana

El total de *Unidades Formadoras de Colonias* (UFC) encontradas en cada punto de monitoreo se muestra en la figura 4, determinándose que durante el *muestreo 1* la mayor carga bacteriana se presentó en el punto 6 (despacho), con un total de 300 UFC. Mientras que, en el

segundo monitoreo (ejecutado después de dos semanas) existió mayor cantidad de UFC en el punto 1 (ingreso de materia prima), alcanzando las 324 UFC; en contraste, el punto 7 (bodega) mostró los menores valores de UFC, siendo iguales a 7 y 4 UFC en el primer y segundo muestreo respectivamente.

Figura 4. Diagrama de cajas de la distribución de datos de las UFC formadas en cada punto de monitoreo.

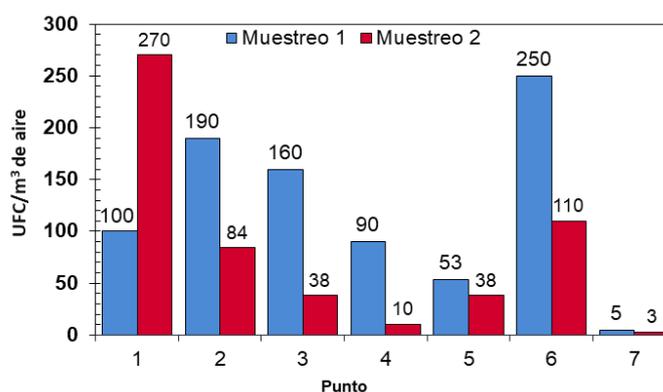


Fuente: Elaboración propia.

En relación con estos hallazgos, se ha determinado que existe abundancia de bacterias en áreas cercanas a fuentes de contaminación externas e internas, como: presencia frecuente de personas, puertas y ventanas (Romero *et al.*, 2016). Lo anterior concuerda con el alto número de UFC encontrado en el punto 6, debido a la circulación del personal hacia esta área, y en el punto 1 se atribuye el alto nivel de UFC a la entrada de aire exterior por la puerta de ingreso que es de dimensiones considerables; el conteo de colonias es una técnica básica, efectiva y confiable según lo expone Kim *et al.* (2021).

De manera semejante al total de UFC por área, al efectuar la determinación de las UFC/m³, se encontró que en el primer muestreo en el punto 6 (despacho) se alcanzaron las 250 UFC/m³, siendo este el valor más elevado. Para el *muestreo 2* el punto 1 (ingreso de materia prima) presentó el mayor nivel de bacterias, con 270 UFC/m³ (figura 5). Al comparar estos resultados con los criterios puntualizados en la *tabla 2* se deduce que los puntos 1 y 6 presentan un nivel de contaminación intermedia.

Figura 5. Recuento total de bacterias en cada punto de monitoreo.



Fuente: Elaboración propia.

Otro aspecto para considerar es que en el *muestreo 1* los valores fueron más elevados en los puntos 1 (100 UFC/m³), 2 (190 UFC/m³), 3 (160 UFC/m³) y 6 (250 UFC/m³); valores que, en las industrias alimentarias corresponden a un ambiente contaminado, en contraste, en el segundo monitoreo los niveles se mantuvieron bajos: 100 UFC/m³ (a excepción del punto 1), indicando un bajo grado de contaminación (Masotti *et al.*, 2018; Andualem *et al.*, 2019). En un estudio realizado en un edificio de oficinas en Gliwice, Polonia, se determinó que el nivel de bacterias observado en el exterior (325 UFC/m³) fue incluso cuatro veces menor que el nivel registrado en el interior (de 540 a 1360 UFC/m³), por lo que los autores concluyeron que las actividades humanas suelen ser la fuente predominante de bacterias en el interior (Bragoszewska *et al.*, 2018). Por otra parte, al estudiar la calidad del aire en una universidad de Etiopía, se encontró que las aulas universitarias tuvieron una concentración bacteriana de hasta 2453 UFC/m³, indicando un rango altamente contaminado, por lo que esta edificación fue considerada candidato potencial para el síndrome del edificio enfermo (Ashuro *et al.*, 2022).

Al analizar datos de conteos en otros ambientes, como en un cruce de alta densidad de tráfico en India, se determinó una concentración bacteriana total promedio de 2000 UFC/m³, siendo significativamente mayor ($p < 0.05$) que la concentración fúngica correspondiente (1100 UFC/m³); además, se observó una fuerte correlación positiva ($r = 0.83$, $p < 0.05$) entre los aerosoles bacterianos y fúngicos, lo que indica la similitud de los factores que afectan sus variaciones temporales (Madhwal *et al.*, 2020).

De manera semejante, al analizar el nivel de bioaerosoles en una planta de tratamiento de aguas residuales, se encontró un promedio de 1016 UFC/m³ en invierno y 1973 UFC/m³ en verano (Niazi *et al.*, 2015).

Por otro lado, en esta investigación, el valor total de UFC/m³ para el *muestreo 1* fue de 848 UFC/m³, mientras que en el *muestreo 2* se alcanzaron los 550 UFC/m³; por lo que la disminución de la carga bacteriana fue de 298 UFC/m³, lo cual se atribuye a la limpieza general en las instalaciones del taller agroindustrial realizada un día antes del segundo muestreo. Las bacterias mesófilas son microorganismos muy adaptables y, por lo tanto, se pueden encontrar en una amplia variedad de hábitats (Fritsche, 2016). Las partículas, que son emitidas tanto por fuentes antropogénicas como naturales, varían mucho en concentración y pueden aumentar mucho en el aire ambiente (Bowers *et al.*, 2011).

Esta dependencia también se ha descrito en el aire circundante a las viviendas, donde se atribuye la carga bacteriana a factores como elevada humedad relativa, insuficiente ventilación natural e insolación, limpieza deficiente y hacinamiento (Course Hero, 2022). Es decir, existe una notable dependencia de la carga bacteriana ante la asepsia.

Identificación del riesgo para la salud del personal por la presencia de bacterias

No se identificaron bacterias *Staphylococcus aureus* en ninguno de los puntos establecidos; lo cual se atribuye al uso obligatorio de mascarilla o cubreboca, con la finalidad de prevenir la propagación del COVID-19, pues las bacterias pertenecientes al género *Staphylococcus*

normalmente sobreviven en la mucosa nasal y en la boca de los humanos (Mayo Foundation for Medical Education and Research, 2022). En adición, se ha puntualizado que la presencia de polvo en el aire afecta la capacidad de cultivo, la capacidad de formación de biopelículas y el potencial inflamatorio, pero no la viabilidad de *Staphylococcus aureus*, lo que también se relaciona con la higiene (Kerr *et al.*, 2020).

Por otra parte, se identificaron colonias rosas en los puntos 1 (ingreso de materia prima) y 4 (cámara de almacenamiento de hielo), por lo

que acorde a la *tabla 3* se deduce la presencia de *Enterobacter aeroneges*, cuyos valores se resumen en la *tabla 4*. Se ha reportado la presencia de *E. aeroneges* en varios tipos de alimentos; no obstante, sobre todo en aquellos productos derivados de la carne debido a que son parte de la flora intestinal de los animales (Moelling y Broecke, 2020); noción que concuerda con los hallazgos de esta bacteria en el punto 1, donde ingresa carne de cerdo, pollo y res.

Tabla 4. Recuento total de la especie *Enterobacteriaceae sp.* Expresado en UFC/m³ de aire.

Punto	Muestreo 1			Muestreo 2		
	Repetición	Dilución 10 ²	Dilución 10 ³	Repetición	Dilución 10 ²	Dilución 10 ³
1	R1	0	0	R2	<1.0X10 ¹	0
2	R2	0	0	R1	0	0
3	R3	0	0	R3	0	0
4	R3	1.3X10 ²	0	R2	1.3X10 ²	0
5	R2	0	0	R1	0	0
6	R1	0	0	R1	0	0
7	R3	0	0	R1	0	0

Fuente: Elaboración propia.

Dada la característica facultativa de las Enterobacterias, pueden vivir con o sin aire y se desarrollan mejor cuando la concentración de oxígeno en la atmósfera es de entre 3 y 5% (Kerr *et al.*, 2020); estos microorganismos también pueden vivir a una temperatura de 20 a 45 °C, aunque algunas pueden vivir a temperaturas de refrigeración, concordando con la presencia de *E. aeroneges* en el punto 4 (cámara de almacenamiento de hielo), lugar donde existe gran cantidad de agua disponible favoreciendo su desarrollo. Además, la presencia de bacterias fecales como el grupo de las *Enterobacteriaceae* se considera una fuerte contaminación del aire interior, vinculada inclusive a fugas provenientes

de aguas residuales (Ruiz-Gil *et al.*, 2020) y está asociado con una variedad de hábitats ambientales. Las cepas de *E. aeroneges* tienen una amplia capacidad para adquirir mecanismos de resistencia a los antibióticos. Otros resultados han demostrado que *E. aeroneges* sobrevive en todo tipo de superficies (acero inoxidable, PVC o cerámica) y que sobrevive durante al menos 500 horas en temperaturas de hasta 7 °C (Igo y Schaffner, 2019).

La presencia de *Enterobacter aeroneges* se detectó en el taller estudiado, donde los riesgos para el personal se asocian con el padecimiento de enfermedades como: infección del tracto urinario, diarrea aguda, otitis media, celulitis y

sepsis neonatal (Bush y Vazquez-Pertejo, 2022). Estos hallazgos sugieren que el personal del taller agroindustrial es susceptible de contraer cualquiera de las infecciones antes mencionadas. Este estudio proporciona información para identificar las interacciones entre las bacterias mesófilas y las partículas en el aire, los datos obtenidos se pueden utilizar como valores de referencia para la evaluación de las emisiones en diferentes ambientes, la información sobre las concentraciones microorganismos en el aire es necesaria tanto para estimar el peligro para la salud como para crear estándares de control de la calidad del aire interior. Las principales implicaciones de los resultados conforman una línea base que estima la concentración bacteriana en un taller de procesos agroindustriales. En investigaciones futuras se aplicarán metodologías para identificar los microorganismos molecularmente, aplicando técnicas como la metagenómica y secuenciación, y así generar propuestas que permitan mejorar la calidad del aire interior.

CONCLUSIONES

Mediante los monitoreos realizados se determinó que en el taller agroindustrial

existe hasta 270 UFC/m³, valor que sugiere un nivel de contaminación intermedio en el lugar, lo que se asocia a manifestaciones clínicas como alergia, rinitis, asma y conjuntivitis. Por lo tanto, se debe prestar atención al control de aquellos factores ambientales que favorecen el crecimiento y la multiplicación de microorganismos en el ambiente interior del taller de procesos agroindustriales para salvaguardar la salud de los usuarios y trabajadores.

La identificación morfométrica reveló la presencia de *Enterobacter aeroneges* en los puntos 1 (ingreso de materia prima) y 4 (cámara de almacenamiento de hielo), por lo que de no existir adecuadas medidas de higiene, el personal del taller puede sufrir enfermedades infecciosas a causa de su exposición a esta bacteria. Aunque recientemente se han propuesto factores que influyen en las comunidades bacterianas transportadas por el aire y procedimientos estandarizados para su evaluación, el uso de taxones bacterianos como indicadores microbianos de fuentes específicas de bioaerosoles y estacionalidad no se ha explorado ampliamente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aalde, H., Gonzalez, P., Gytarsky, M., Krug, T., Kurz, W. A., Ogle, S., Raison, J., Schoene, D., Ravindranath, N. H., Elhassan, N. G., Heath, L. S., Higuchi, N., Kainja, S., Matsumoto, M., Sanz, M. J. y Somogyi, Z. (2006). Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra en H.S. Eggleston, L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara y K. Tanabe (Eds), *Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero* (Vol. 4). Instituto para las Estrategias Ambientales Globales. <https://bit.ly/3ciocMV>
- Arroyave, M. (2018). *Estimación del crecimiento, la biomasa y la captura de carbono de tres especies arbóreas del bosque urbano en los municipios de Medellín y Envigado* [Tesis de Maestría, Universidad EIA]. Repositorio Institucional. <https://bit.ly/3c0CMbU>

- Arroyave, M. P., Posada, M. I. y Gutiérrez, M. E. (2014). *Catálogo virtual de flora del Valle de Aburrá*. Universidad EIA. <http://catalogofloravalleaburra.eia.edu.co>
- Arroyave, M., Posada, M. I., Nowak, D. J. y Hoehn, R. E. (2019). Remoción de contaminantes atmosféricos por el bosque urbano en el valle de Aburrá. *Colombia Forestal*, 22(1), 5-16. <https://doi.org/h4j2>
- Arteaga, N. y Casanova, K. (2018). *Valoración económica y ambiental del arbolado en la zona centro sur de Manta, tramo parque de la Madre – redondel de Barbasquillo* [Tesis de Grado no publicada]. Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí
- Brown, S. y Lugo, A. E. (1992). Above ground biomass estimates for tropical moist forests of the Brazilian Amazon. *Interciencia*, 17(1), 8-18. <https://bit.ly/3PIDfUS>
- Castillo-Ruperti, R. J., Rodríguez-Guerrero, B. y Bravo-Meza, K. (2022). Fijación de carbono (CO₂) del arbolado de los parques La Rotonda y La Madre, Manabí, Ecuador. *Revista Científica Multidisciplinaria Arbitrada Yachasun*, 6(10), 8-21. <https://doi.org/h4kq>
- Cristancho, F. A. (2020). *Propiedades y cualidades del árbol de Neem (Azadiractha indica a. juss) como especie promisorio en arreglos agroforestales* [Tesis de Grado, Universidad Nacional Abierta y a Distancia]. Repositorio Institucional. <https://bit.ly/3lyamIK>
- Czaja, M., Kołton, A. y Muras, P. (2020). The complex issue of urban trees-stress factor accumulation and ecological service possibilities. *Forest*, 11(9), 932. <https://doi.org/10.3390/f11090932>
- Danilina, N., Tsurenkova, K. y Berkovich, V. (2021). Evaluating urban green public spaces: The case study of Krasnodar Region cities, Russia. *Sustainability*, 13(24), 14059. <https://doi.org/h4kr>
- DatosMacro. (2020). *Ecuador - Emisiones de CO₂ en 2020*. Recuperado el 4 de enero de 2022 de <https://bit.ly/3ySVkDT>
- Divakara, B. N., Nikitha, C. U., Nölke, N., Tewari, V. P. y Kleinn, C. (2022). Tree diversity and tree community composition in northern part of megacity Bengaluru, India. *Sustainability*, 14(3), 1295. <https://doi.org/h4ks>
- Dyderski, M. K. y Jagodzinski, A. M. (2020). Impacts of alien tree species on the abundance and diversity of terricolous bryophytes. *Folia Geobotanica*, 55, 351–363. <https://doi.org/gn49t8>
- Edwards, P. J., Drillet, Z., Richards, D. R., Fung, T. K., Song, X. P., Leong, R. A. T., Gaw, L. Y. F., Yee, A. T. K., Quazi, S. A., Ghos, S. y Chua, K. W. J. (2020). Ecosystem services in urban landscapes: Benefits of tropical urban vegetation. Singapore-ETH Centre/Future Cities Laboratory. <https://bit.ly/3ytdxq7>

- Farinango, J. P. (2020). Determinación de la relación de emisión y captura de carbono en el arbolado de las avenidas de cuatro parroquias urbanas del cantón Ibarra [Tesis de Grado, Universidad Técnica del Norte]. Repositorio Institucional. <https://bit.ly/3nWmIKV>
- Farinango-Carlosama, J. N. (2020). *Estimación de la captura de carbono del arbolado urbano en la Cabecera cantonal de Otavalo, provincia de Imbabura* [Tesis de Grado, Universidad Técnica del Norte]. Repositorio Institucional. <https://bit.ly/3AGBZHh>
- Flores, K. L., García, F. E., Irigoín, Y. y Taype, C. A. (2021). *Los espacios verdes públicos y su influencia en la calidad de vida urbana en el distrito de Lurín, 2020. Arquitectura y Urbanismo Ambiental*, 24. <https://doi.org/10.21142/tb.2021.1966>
- Gratani, L., Varone, L. y Bonito, A. (2016). Carbon sequestration of four urban parks in Rome. *Urban Forestry & Urban Greening*, 19(1), 184-193. <https://doi.org/f882j8>
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. (2018). *Anuario de Estadísticas de Transporte 2017* [PDF]. <https://bit.ly/2P5yp3h>
- International Energy Agency. (2008). *World Energy Outlook: 2008*. OECD/IEA. <https://bit.ly/3ch6klr>
- Jumbo-Salazar, C. A., Arévalo, C. D. y Ramirez-Cando, L. J. (2018). Carbon measurement of the natural forest arbóreo stratum, Tinajillas-Limon Indanza, Ecuador. *La Granja*, 27(1), 49-61. <https://doi.org/h5jk>
- Kiss, M., Takács, A., Pogácsás, R. y Gulyás, A. (2015). The role of ecosystem services in climate and air quality in urban areas: Evaluating carbon sequestration and air pollution removal by street and park trees in Szeged (Hungary). *Moravian Geographical Reports*, 23(3). <https://doi.org/gf39td>
- Kowarik, I., Fischer, L. K. y Kendal, D. (2020). Biodiversity conservation and sustainable urban development. *Sustainability*, 12(12), 4964. <https://doi.org/10.3390/su12124964>
- Latinopoulos, D. (2022). Evaluating the importance of urban green spaces: a spatial analysis of citizens' perceptions in Thessaloniki. *Euro-Mediterranean Journal for Environmental Integration*. <https://doi.org/10.1007/s41207-022-00300-y>
- Muneroli, C. C. y Mascaró, J. J. (2010). Arborização urbana: uso de espécies arbóreas nativas na captura do carbono atmosférico. *Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana*, 5(1), 160-182. <https://doi.org/h4qb>

- Muñoz, M. E. y Vásquez, E. G. (2020). *Estimación del potencial de captación de carbono en los parques urbanos y emisiones de CO₂ vehicular en Cuenca, Ecuador* [Tesis de Grado, Universidad Politécnica Salesiana]. Repositorio Institucional. <https://bit.ly/3AGHQfU>
- Naciones Unidas. (1992). *Convención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático* (FCCC/INFORMAL/84*). Recuperado el 4 de enero de 2022 de <https://bit.ly/3AKAvM7>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2021). *Los bosques y el cambio climático*. Recuperado el 15 de diciembre de 2021 de <https://bit.ly/3yXx8jR>
- Orwa, C., Mutua, A., Kindt, R., Jamnadass, R. y Anthony, S. (2009). *Agroforestry Database: a tree reference and selection guide version 4.0*. World Agroforestry Centre. <https://bit.ly/3PjPa5l>
- Paganová, V. y Vyhnáliková, M. (2018). Pruning urban trees-type and quality according to arborist union standards. *Plants in Urban areas and landscape*, 29-34. <https://doi.org/h4qgn>
- Pilozo, M. F. (2017). *Espacios Verdes en la Universidad Eloy Alfaro de Manabí: Importancia Ambiental e Influencia en el Bienestar de las personas* [Tesis de Grado, Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Ecuador]. Repositorio Institucional. <https://bit.ly/3yVJ8RI>
- Raihan, A., Begum, R. A., Mohd, M. N. y Pereira, J. J. (2021). Assessment of carbon stock in forest biomass and emission reduction potential in Malaysia. *Forests*, 12(10), 1294. <https://doi.org/10.3390/f12101294>
- Rojas, M. V., Caraballo, M. A., Álvarez, O. H. y Vivanco, S. (2018). Emisión de dióxido de carbono de vehículos automotores en la ciudad de Loja, Ecuador. *Revista CEDAMAZ*, 8(1), 23-29. <https://bit.ly/3uEGE8Z>
- Sharma, R., Pradhan, L., Kumari, M. y Bhattacharya, P. (2021). Assessment of carbon sequestration potential of tree species in Amity University Campus Noida. *Environmental Sciences Proceedings*, 3(1), 51. <https://doi.org/10.3390/IECF2020-08075>
- Turner-Skoff, J. B. y Cavender, N. (2019). The benefits of trees for livable and sustainable communities. *Plants, People, Planet*, 1(4), 323–335. <https://doi.org/10.1002/ppp3.39>
- Velasco, E., Roth, M., Norford, L. y Molina, L. T. (2016). Does urban vegetation enhance carbon sequestration? *Landscape and Urban Planning*, 148, 99–107. <https://doi.org/f8gh6g>
- Virido, J., Pittman, J., Bost, J., Bedwell, K., Thomson, V., Stewart, F., Otto, A., Sendall, J., Puciato, H. y Patel, R. (2022). *Pan-European City Rating and Ranking on Urban Mobility for Liveable Cities. Report for the Clean Cities Campaign, hosted by Transport & Environment* [PDF]. <https://bit.ly/3axOcUO>

Wang, Y., Chang, Q. y Li, X. (2021). Promoting sustainable carbon sequestration of plants in urban greenspace by planting design: A case study in parks of Beijing. *Urban Forestry & Urban Greening*, 64, 127291. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2021.127291>

Xie, Ch. (2018). Tree diversity in urban parks of Dublin, Ireland. *Fresenius Environmental Bulletin*, 27(12A), 8695-8708. <https://bit.ly/3OpcGgg>

Zucchetti, A., Hartmann, N., Alcantara, T., Gonzales, P., Cánepa, M. y Gutierrez, C. (2020). *Infraestructura verde y soluciones basadas en la naturaleza para la adaptación al cambio climático. Prácticas inspiradoras en ciudades de Perú, Chile y Argentina*. Plataforma MiCiudad, Red AdaptChile y ClikHub. <https://bit.ly/3zoFzF7>



Diatomeas epilíticas asociadas a la calidad de agua del río Illuchi, Latacunga, Ecuador

Epilithic diatoms associated with the water quality of the Illuchi River, Latacunga, Ecuador

Diatomáceas epilíticas asociadas à qualidade da água do rio Illuchi, Latacunga, Equador

Manuel Patricio Clavijo Cevallos / Universidad Técnica de Cotopaxi, Ecuador / manuel.clavijo@utc.edu.ec

Diana Carolina Gallegos / Universidad Técnica de Cotopaxi, Ecuador / diana.gallegos0732@utc.edu.ec

Cinthia Vilela Muñoz / Universidad Técnica de Cotopaxi, Ecuador / cinthia.vilela7523@utc.edu.ec

Recibido: 5/5/2021

Aceptado: 28/3/2022

Publicado: 2/5/2022

RESUMEN

La calidad del agua en la provincia Cotopaxi ha sido objeto de análisis debido a la utilidad de este recurso para la población, lo cual sirve como punto de referencia para la detección de los niveles de contaminación en el río Illuchi. El objetivo del estudio fue determinar el índice de calidad del agua mediante parámetros físicos, químicos y microbiológicos. En los dos primeros se tuvieron en cuenta variables abióticas; mientras que en el tercero se trabajaron variables bióticas, específicamente la identificación taxonómica de diatomeas presentes en los sistemas acuáticos. Se tomaron tres puntos de muestreo: laguna Salayambo (P1), hacienda Noelanda (P2) y barrio Saragosín (P3), identificándose 31 especies de *diatomeas epilíticas* a lo largo del río. El cálculo del índice de calidad del agua arrojó valores para el punto 1 de 70.18, cuya calificación es regular y de tipo oligotrófico, el punto 2 un valor de 52.2, su estado regular de tipo β -mesotrófico y el punto 3 de 46.87 con una calidad mala de tipo α -mesotrófico. Se pudo concluir que existe una relación entre las diatomeas y la calidad del agua; además se evidenció el incremento de la contaminación debido a la agricultura, ganadería y los asentamientos humanos.

Palabras clave: bioindicadores, contaminación hídrica, índice de calidad del agua, índice trófico de calidad del agua

ABSTRACT

The quality of the water in the Cotopaxi province has been the object of analysis due to the usefulness of this resource for the population, which serves as a reference point for the detection of contamination levels in the Illuchi River. The objective of the study was to determine the water quality index through physical, chemical and microbiological parameters. In the first two, abiotic variables were taken into account; while in the third, biotic variables were worked on, specifically the taxonomic identification of diatoms present in aquatic systems. Three sampling points were taken: Laguna Salayambo (P1), Hacienda Noelanda (P2) and Barrio Saragosín (P3), identifying 31 species of epilithic diatoms along the river. The calculation of the water quality index yielded values for point 1 of 70.18, whose qualification is regular and of oligotrophic type, point 2 a value of 52.2, its regular state of type β -mesotrophic and point 3 of 46.87 with a poor quality α -mesotrophic type. It was concluded that there is a relationship between diatoms and water quality; In addition, the increase in contamination due to agriculture, livestock and human settlements was evidenced.

Keywords: bioindicators, trophic index of water quality, water pollution, water quality index

RESUMO

A qualidade da água na província de Cotopaxi tem sido objeto de análise devido à utilidade deste recurso para a população, que serve como ponto de referência para a detecção de níveis de contaminação no rio Illuchi. O objetivo do estudo foi determinar o índice de qualidade da água através de parâmetros físicos, químicos e microbiológicos. Nos dois primeiros, foram consideradas as variáveis abióticas; enquanto na terceira foram trabalhadas variáveis bióticas, especificamente a identificação taxonômica de diatomáceas presentes em sistemas aquáticos. Três pontos de amostragem foram realizados: Laguna Salayambo (P1), Hacienda Noelanda (P2) e Barrio Saragosín (P3), identificando 31 espécies de diatomáceas epilíticas ao longo do rio. O cálculo do índice de qualidade da água rendeu valores para o ponto 1 de 70.18, cuja qualificação é regular e de tipo oligotrófico, ponto 2 um valor de 52.2, seu estado regular de tipo β -mesotrófico e ponto 3 de 46.87 com qualidade ruim tipo α -mesotrófico. Concluiu-se que existe uma relação entre as diatomáceas e a qualidade da água; Além disso, evidenciou-se o aumento da poluição devido à agricultura, pecuária e assentamentos humanos.

Palavras chave: bioindicadores, poluição da água, índice de qualidade da água, índice trófico de qualidade da água

INTRODUCCIÓN

En la naturaleza, la calidad del agua depende fundamentalmente de las características de la cuenca hidrográfica, especialmente de los suelos y la geología; pero es la actividad antrópica la más influyente en la contaminación de los ríos. La intensa actividad agrícola y ganadera, unido a la continua urbanización a lo largo de las subcuencas de los ríos es-

tudiados, constituyen la principal fuente de contaminación. En tal sentido, Pauta-Calle *et al.* (2019) plantea que «disponer de agua para bebida con requisitos de calidad es muy difícil para algunos sectores de la población que utilizan estas fuentes de abastecimiento» (p.2).

En su investigación Sánchez (2019) menciona que existen algunas zonas a nivel planetario que se libran de que sus aguas continentales estén en mal estado. El incremento de industrias aumenta la gama de tóxicos que terminan en ríos, lagos o aguas subterráneas como microplásticos y restos de productos farmacéuticos, cuyos efectos sobre la salud todavía no se pueden cuantificar debido a la falta de estudios.

La presente investigación estuvo dirigida al análisis, conservación y aprovechamiento de la biodiversidad local; más aún cuando se habla de la preservación de espacios acuáticos. Se conoce que el recurso hídrico es un factor clave para el desarrollo socioeconómico del país, por su vinculación de manera directa con las actividades agrícolas, ganaderas y mineras. En tal sentido, cada país es responsable de velar por la calidad de las fuentes hídricas. En Ecuador, el Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAAE, 2017), es la autoridad encargada de tomar las medidas preventivas y correctivas de acción directa que permitan eliminar los procesos contaminantes, solicitar la regularización ambiental y tomar acciones legales en contra de los responsables; de acuerdo con la norma legal vigente.

Según Ulloa (2016) la ausencia de una eficiente planificación transforma los ríos de

Latacunga en focos de riesgo y contaminación ambiental. En la actualidad estos se han convertido en verdaderas cloacas donde se depositan los residuos de forma directa, y en muchas ocasiones, sin pasar por un tratamiento mínimo a los cuerpos de agua. La principal actividad que incide en la calidad del agua son las descargas de aguas residuales, ya que se considera una fuente de contaminación por la falta de tratamiento posterior a su uso, debido a las falencias en cobertura de saneamiento, incidiendo en el ciclo del agua (Gamarra *et al.*, 2018).

Andrade (2018), manifiesta que las diatomeas son microorganismos que presentan diversos límites de tolerancia a diferentes alteraciones del ambiente. Es por ello, que se reconoce que las diatomeas poseen características como ser «insensibles» cuando no soportan nuevas condiciones ambientales, comportándose como «intolerantes»; mientras que otras son «tolerantes» al no verse afectadas por estos cambios ambientales. Es por esta razón que se utilizan como bioindicadores para determinar la calidad del agua donde viven, reconociendo estas cualidades se pueden considerar como organismos que en un momento dado pueden evaluar el cambio climático a través de las variaciones de las condiciones ambientales.

Según Ólafsson (2019), las diatomeas son algas microscópicas unicelulares fotosintéticas capaces de absorber cerca de la mitad de dióxido de carbono en el medio acuático y generan una quinta parte del oxígeno que se respira. También transportan el carbono desde la atmósfera hacia las aguas profun-

das y los sedimentos acuáticos; a este proceso se le denomina *bomba biológica*, el cual contribuye a regular el clima de la Tierra.

Con relación a lo anterior, EcuRed (2019) indica que, las diatomeas se originaron durante o después del periodo Jurásico Temprano. El estudio de las comunidades de diatomeas es importante, pues permite determinar la condición del agua y evaluar la evolución del ambiente. Estas algas se encuentran en cualquier tipo de hábitat que pueden ir desde los salados mares hasta condiciones de altas temperaturas que hacen el ambiente extremadamente seco; además pueden interactuar con otros organismos como las cianofíceas.

La investigación tuvo como finalidad identificar las *diatomeas epilíticas* relacionadas con la calidad de agua en tres puntos de muestreo en el río Illuchi por medio del análisis comparativo de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos, cumpliendo con la normativa ambiental vigente en Ecuador. La importancia del estudio radica en el uso de bioindicadores acuáticos como determinantes de la calidad del agua por sus características biológicas y de adaptación que estas presentan.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los puntos de muestreo se ubicaron en área estratégicas, en función del grado de contaminación, punto alto, medio y bajo como se puede observar en la *figura 1* y *tabla 1*. El punto 1 se encuentra próximo al nacimiento del río, cerca de la laguna de Salayambo perteneciente al Parque Nacional Llanganates, área protegida de Ecu-

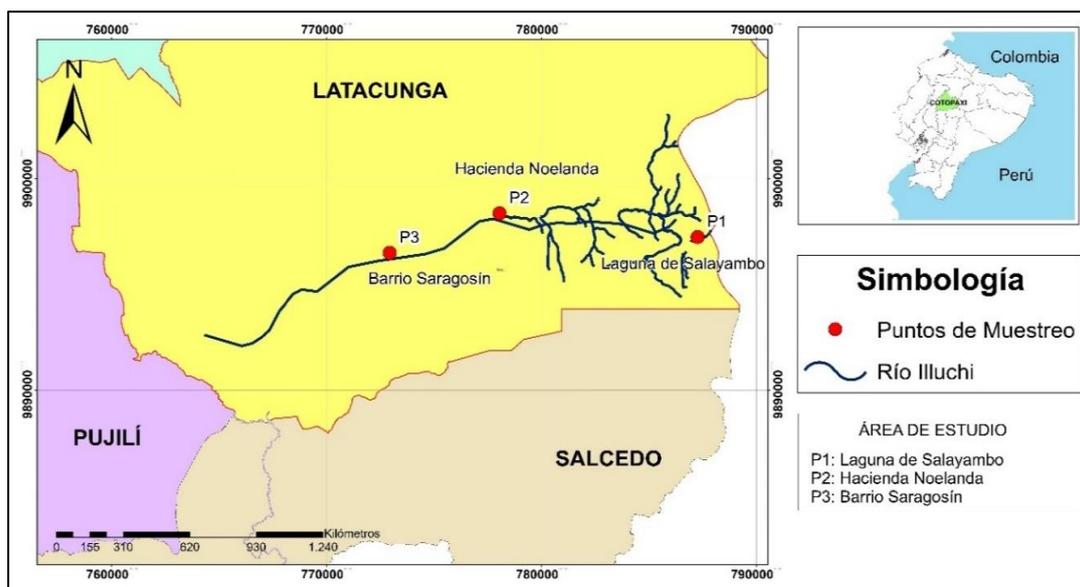
dor, correspondiente a la provincia Cotopaxi a una altura de 3848 msnm (páramo andino). El punto 2 se ubicó cerca de la hacienda Noelanda, a una altura de 3428 msnm, donde existen varias zonas de cultivo que la población tiene como medio de sustento principal, y finalmente el punto 3 se ubicó cerca del barrio Saragosín, a una altura de 2962 msnm, en cuyo sitio se encuentra la hidroeléctrica Illuchi 2, donde se desarrolla la pesca deportiva. En este último punto existe un incremento poblacional con asentamientos humanos en los alrededores que utilizan el agua para riego agrícola (*figura 1*).

Para la selección de los puntos de muestreo del estudio se tuvo en cuenta la presencia de fuentes contaminantes antrópicas, ya sea por el uso de plaguicidas y productos químicos en los cultivos agrícolas o por la deposición de aguas residuales de los asentamientos humanos al río. Su ubicación espacial se realizó mediante la georreferenciación. Posteriormente se procedió a la recolección de las muestras de agua para enviarlas al laboratorio acreditado *Labsag*. Los datos obtenidos sirvieron para el cálculo de los índices de calidad del agua, cuyo resultado es comparado con la normativa ambiental ecuatoriana vigente y que pueden ser consultados en el *Tratado Unificado de Legislación Ambiental Secundaria de Medio Ambiente* y en el *Código Orgánico Ambiental*. De igual modo se tomaron muestras para la identificación de las especies de *diatomeas epilíticas* en los tres puntos a lo largo del río, durante tres meses.

Los métodos utilizados en la investigación están relacionados con el análisis de la calidad del agua, para luego pasar a un proceso de observación y comparación tanto

en el campo como en el laboratorio de los bioindicadores a través de un análisis cuali-cuantitativo de los especímenes de diatomeas.

Figura 1. Ubicación de los puntos de muestreo de la microcuenca del río Illuchi



Fuente: Elaboración propia

Tabla 1. Puntos de muestreo en la microcuenca del río Illuchi

Código	Río	Ubicación	Puntos	Coordenadas (UTM)
1	Illuchi	Laguna de Salayambo	Alto	787263; 9897241
2	Illuchi	Hacienda Noelanda	Medio	778042; 9898362
3	Illuchi	Barrio Saragosín	Bajo	772933; 9896495

Fuente: Elaboración propia

Método de muestreo de diatomeas epilíticas

Para el proceso de toma, conservación y tratamiento de las muestras se utilizaron recipientes de un litro de capacidad para ensayos físico- químicos. En el caso de los ensayos microbiológicos se usaron recipientes de 150 ml sellados y esterilizados; y para muestras de diatomeas recipientes de 250 ml. Todos los recipientes fueron ro-

tulados, con fecha, punto de muestreo y responsable, de acuerdo con lo que indica la Norma ISO 5667-6:2014 (Organización Internacional de Normalización, 2014) sobre el protocolo de manejo de muestras de investigación.

Para la recolección de muestras de diatomeas en el río se siguió la metodología propuesta por Lobo *et al.* (2016), se-

leccionando por cada punto entre tres y cinco piedras sumergidas con un tamaño de entre 15 y 20 cm de diámetro y a una profundidad de 5 cm. Procurando que tuvieran una coloración parda ya que es un indicativo de presencia de diatomeas. Posteriormente se procedió a cepillar la parte superior de las piedras, evitando las áreas de erosión y sedimentación. Luego se realizó un lavado con agua destilada, recolectando aproximadamente 500 ml de muestra en una botella plástica, por último, se etiquetó y colocó en un contenedor para su conservación y transporte al laboratorio (Sala *et al.*, 2015).

Tratamiento de muestras de diatomeas

Fase de laboratorio

En este caso se consideró la metodología planteada por Lobo *et al.* (2016), quienes plantean que las muestras de las diatomeas se colocan en tubos Falcón 5 ml de muestra y 10 ml de ácido sulfúrico. Se trasvasa a un vaso de precipitado y se diluye con 150 ml de agua destilada, luego se lleva a la campana extractora de gases donde se deja en ebullición en una estufa durante 60 minutos. Posteriormente se deja enfriar y una vez fría la muestra se colocan 0.04 gr de dicromato de potasio y se lleva nuevamente al vaso de precipitado donde se calienta por 60 minutos a 90°C, luego se deja reposar por 24 horas.

Transcurrido el tiempo indicado se centrifuga a 3000 rpm por dos minutos, después se retira el sobrenadante, se vierte agua destilada hasta 10 ml a modo de enjuague y se centrifuga nuevamente (repetir seis veces). Ya retirado el sobrenadante se co-

locan 2 ml de ácido clorhídrico y 10 ml de agua destilada, se lleva a un vaso de precipitado, se procede a hervir por 30 minutos y se deja enfriar la muestra. Una vez fría se centrifuga a 3000 rpm por dos minutos, se retira el sobrenadante, se añaden 10 ml de agua destilada a modo de enjuague, se centrifuga nuevamente y se retira el sobrenadante, obteniendo la muestra de diatomeas para su identificación.

Para el proceso de preparación de placas se tomaron dos gotas de muestra que se colocaron en el portaobjetos y luego en la plancha de calentamiento a 50°C. A continuación, se añadieron dos gotas de agua destilada, dos gotas de alcohol al 70% y se espera hasta que la muestra se seque. Una vez seca la muestra, se tomó el portaobjetos y se puso una gota de Naphrax, que es un reactivo de montaje con un elevado índice de refracción; posteriormente se colocó en la plancha de calentamiento a 200°C, quedando la placa lista para su observación en el microscopio.

Para identificar y contar las *diatomeas epilíticas* se siguió el procedimiento propuesto en la Norma Europea (EN) 14407 – versión 2004. Se utilizó el microscopio óptico *Leica DM750*, adaptado con una platina mecánica y un objetivo de inmersión para obtener un aumento elevado de 100x. Lentamente se realizó un barrido vertical en el portaobjeto para ubicar las diatomeas y realizar una fotografía con las correspondientes medidas para proceder a la identificación taxonómica de cada especie y comparar los resultados con diferentes fuentes y estudios realizados en Ecuador (Uvillus, 2017; Castillejo *et al.*, 2018).

Determinación del índice de calidad del agua

El cálculo del índice de calidad del agua se realiza mediante una relación de los valores obtenidos en el análisis del agua en el laboratorio de nueve parámetros: coliformes fecales (Standard Methods APHA-AWWA-WPCF), pH (Multiparámetro Basic), DBO5 (Standard Methods Ed 23, 2017, 5210 B, 4500 O-C), nitratos (Standard Methods Ed 23, 2017, 4500 NO3, A y B), fosfatos (Standard Methods Ed 23, 2017, 4500 P-C), temperatura (Test laboratory Basic), turbidez (Test laboratory Basic), sólidos

disueltos totales (Standard Methods Ed 23, 2017, 2540 A y B) y oxígeno disuelto (HACH Nro. 8000 1299 T Ed.). Como dato complementario para el cálculo del índice trófico del agua se determinó el nivel de clorofila existente en los puntos de estudio. En la actualidad su aplicación y uso es cada vez más frecuente para identificar las tendencias integradas a los cambios en la condición del agua.

En la *tabla 2* se indica la escala de interpretación de la calidad del agua que va desde muy malo hasta excelente, en relación con los parámetros mencionados.

Tabla 2. Rangos para determinar el Índice de calidad del agua

Valor del índice de calidad del agua (ICA)	Calificación
Excelente	91 – 100
Bueno	71 – 90
Regular	51 – 70
Malo	26 – 50
Muy malo	0 – 25

Fuente: Posselt y Costa (2010)

Determinación del índice trófico de calidad del agua

Para el cálculo de este índice se aplicó la fórmula propuesta por Lobo *et al.* (2016), el mismo que toma como criterio operacional o gradiente ambiental la eutrofización, cuyos valores tróficos van de 1 hasta 4 en dependencia de los niveles de tolerancia de eutrofización (*tabla 3*).

Para el cálculo se utilizó la ecuación:

$$ITQA = \frac{\sum (vt \times h)}{\sum h}$$

Donde

ITQA = Índice trófico de calidad del agua

vt = Valor trófico de las especies

h = Abundancia relativa de las especies

Tabla 3. Valor trófico de especies

Niveles de contaminación	Índice trófico de calidad del agua
Oligotrófico - polución despreciable	1.0 - 1.5
β -mesotrófico - polución moderada	1.5 - 2.5
α -mesotrófico - polución fuerte	2.5 - 3.5
Eutrófico - polución excesiva	3.5 - 4.0

Fuente: Lobo et al. (2016)

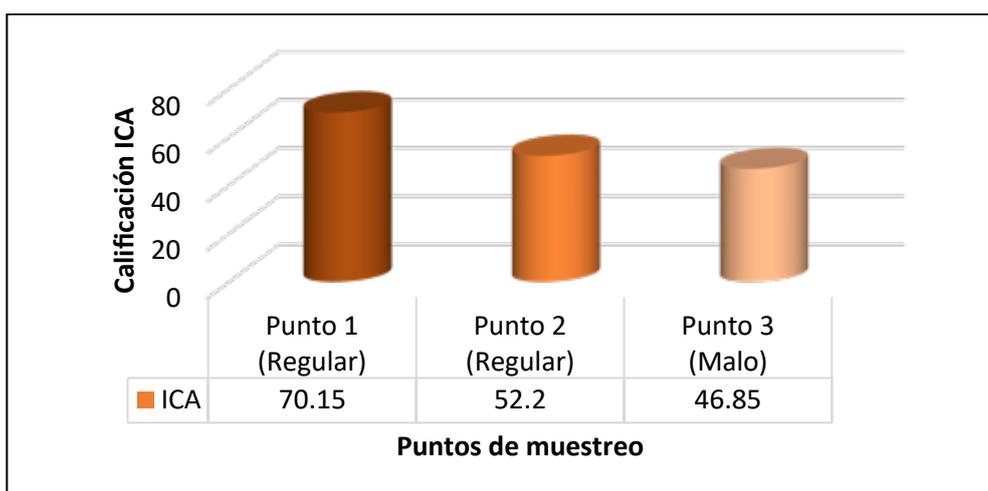
RESULTADOS

Índice de calidad del agua

El índice de calidad del agua (ICA) se calculó aplicando los resultados obtenidos de los nueve parámetros físicos, químicos y microbiológicos, cuyos resultados se muestran en la figura 2. El punto 1, ubicado en la laguna de Salayambo, tiene un valor medio equivalente a 70.1 con una calificación de regular, lo que indica que el agua requiere mínima purificación para considerarla apta para el

consumo humano. Por su parte el punto 2, en la hacienda Noelanda, arrojó un valor de 52.2 con una calificación de regular; mientras que el punto 3 en el barrio Saragosín presentó un valor de 46.8 con una calificación de mala, siendo el punto de muestreo más contaminado debido a la descarga de aguas residuales domésticas y a la interacción de actividades humanas como la pesca deportiva y la agricultura sobre el caudal del río.

Figura 2. Resultados promedio ICA para los tres puntos de muestreo de macroinvertebrados en la microcuenca del río Illuchi



Fuente: Elaboración propia

Índice trófico de calidad del agua

Para determinar el índice trófico de calidad del agua (ITCA) se asignaron valores tróficos a las

especies abundantes que se encontraron en los puntos 1, 2 y 3, obteniendo los resultados que aparecen en las *tablas 4, 5 y 6*.

Tabla 4. Índice trófico de calidad del agua en el punto 1 ubicado en la laguna de Salayambo

Especies de diatomeas epilíticas	Abundancia	Valor trófico	Abundancia relativa (%)
<i>Cyclostephanos invisitatus</i>	126	2.6	6.07
<i>Fragilaria arcus</i>	257	4	12.38
<i>Fragilaria ulna</i>	145	3	6.98
<i>Melosira varians</i>	153	4	7.37
<i>Nitzschia acicularis</i>	119	2	5.73
<i>Nitzschia linearis</i>	135	3	6.50
<i>Rhoicosphenia abbreviata</i>	176	4	8.48
<i>Tabellaria flocculosa</i>	111	1.5	5.35
ITCA	1.41	Oligotrófico (contaminación despreciable)	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5. Índice trófico de calidad del agua en el punto 2 ubicado en la hacienda Noelanda

Especies de diatomeas epilíticas	Abundancia	Valor trófico	Abundancia elativa (%)
<i>Achnantheidium minutissimum</i>	114	4	5.49
<i>Cyclostephanos invisitatus</i>	202	2.6	9.73
<i>Diatoma mesodon</i>	92	4	4.43
<i>Epithemia turgida</i>	251	4	12.09
<i>Fragilaria arcus</i>	157	4	7.56
<i>Grunowia sinuata</i>	138	4	6.65
<i>Melosira varians</i>	91	4	4.38
<i>Pinnularia maior</i>	149	2.5	7.18
<i>Rhoicosphenia abbreviata</i>	102	4	4.91
ITCA	1.53	β-mesotrófico (Contaminación moderada)	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6. Índice trófico de calidad del agua en el punto 3 ubicado en el barrio Saragosín

Especies de diatomeas epilíticas	Abundancia	Valor trófico	Abundancia relativa (%)
<i>Cocconeis lineata</i>	363	4	17.49
<i>Diatoma mesodon</i>	267	4	12.86
<i>Epithemia turgida</i>	129	4	6.21
<i>Fragilaria arcus</i>	119	4	5.73
<i>Fragilaria ulna</i>	110	3	5.30
<i>Gomphonema clavatum</i>	234	4	11.27
<i>Rhoicosphenia abbreviata</i>	339	4	16.33
ITCA	2.61	α-mesotrófico (Contaminación fuerte)	

Fuente: Elaboración propia

En la *tabla 7* se relacionan las especies de *diatomeas epilíticas* que presentan mayor abundancia en cada punto muestreado.

Tabla 7. Especies de diatomeas epilíticas por su abundancia en cada punto de muestreo

Especies de diatomeas Punto 1	Especies de diatomeas Punto 2	Especies de diatomeas Punto 3
<i>Cyclostephanos invisitatus</i>	<i>Achnantheidium minutissimum</i>	<i>Cocconeis lineata</i>
<i>Fragilaria arcus</i>	<i>Cyclostephanos invisitatus</i>	<i>Diatoma mesodon</i>
<i>Fragilaria ulna</i>	<i>Diatoma mesodon</i>	<i>Epithemia turgida</i>
<i>Melosira varians</i>	<i>Epithemia turgida</i>	<i>Fragilaria arcus</i>
<i>Nitzschia acicularis</i>	<i>Fragilaria arcus</i>	<i>Fragilaria ulna</i>
<i>Nitzschia linearis</i>	<i>Grunowia sinuata</i>	<i>Gomphonema clavatum</i>
<i>Rhoicosphenia abbreviata</i>	<i>Melosira varians</i>	<i>Rhoicosphenia abbreviata</i>
<i>Tabellaria flocculosa</i>	<i>Pinnularia maior</i>	
	<i>Rhoicosphenia abbreviata</i>	

Fuente: Elaboración propia

Resultados de los análisis físicos, químicos y microbiológicos del agua

Tabla 8. Resultados de los análisis de laboratorio sobre los parámetros físicos, químicos y microbiológicos

Parámetros	T (°C)	pH	Oxígeno disuelto (mg/L)	DBO5 (mg/L)	Nitratos (mg/L)	Fosfatos (mg/L)	Coliformes totales (UFC/100ml)	Sólidos disueltos (mg/L)	Turbidez (NTU)
Noviembre									
Punto 1	9	6.17	21.9	4.43	0.03	0.537	400	29	1.49
Punto 2	15	7.10	22.1	3.96	0.14	0.465	15 000	34	1.64
Punto 3	13	6.90	30.9	2.62	0.01	0.662	27 000	20	2.0
Diciembre									
Punto 1	9	5.35	17.6	0.27	0.04	0.513	800	50	1.85
Punto 2	12	6.20	16.2	4.68	0.15	0.424	10 000	140	0.90
Punto 3	14	5.80	21.9	5.36	0.02	0.618	70 000	96	3.23

Fuente: Elaboración propia

Como resultado del análisis de los parámetros físicos, químicos y microbiológico (tabla 8) se tiene que la *temperatura* del agua en el río Illuchi a lo largo de los puntos muestreados varía, esto debido a condiciones geográficas como la altitud y el clima de cada uno de los puntos de muestreo. En lo que se refiere a los valores de *potencial hidrógeno* (pH) registrados en los tres puntos, se cumple con la normativa ambiental ecuatoriana referente al recurso agua para actividad de riego agrícola, que está en el rango de 6 a 9.

El *oxígeno disuelto* en el punto 1 es de 21.9 mg/L en noviembre y 17.6 mg/L en diciembre, teniendo un promedio de 19.75 mg/L; parámetro que disminuye en el punto 2 en noviembre de 22.1 mg/L a 16.2 mg/L en diciembre, teniendo un promedio de 19.15 mg/L; esto se debe a una disminución del caudal del río. En el punto 3 existe un aumento de los valores en noviembre

de 30.9 mg/L y de 21.9 en diciembre con un promedio de 26.4 mg/L, pues en esta parte el río posee mayor caudal debido a la presencia de la hidroeléctrica Illuchi 2 que abre sus compuertas, provocando que se alcancen valores que están fuera del límite máximo permisible de acuerdo al *Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente* (TULSMA) (Ministerio del Ambiente, 2017).

Los valores de *nitratos* en los puntos muestreados son bajos y varían entre 0.014 a 0.145 mg/L durante los tres meses de estudio; dichos valores se encuentran dentro de los límites permisibles. Por su parte la *demanda bioquímica de oxígeno* es un parámetro que indica cuanto oxígeno necesitan los microorganismos para oxidar la materia orgánica presente en el agua. En la *tabla 8* se observa que existe una variación en cada punto; esto se debe a la existencia de vertimientos de aguas residua-

les de uso doméstico, factor que incide de forma considerable en este parámetro.

Con relación a los *fosfatos* se observa que en todos los puntos existe una variación durante los meses muestreados, oscilando entre 0.42 mg/L y 0.66 mg/L. Lo anterior se debe al enriquecimiento excesivo de nutrientes en el medio acuático; proceso que coadyuva la eutrofización del agua por el crecimiento acelerado de algas fitoplanctónicas debido a la presencia de fertilizantes, excremento humano y animal que se van incorporando a lo largo del cauce del río.

Otro de los parámetros analizados fue la presencia de *coliformes totales*, evidenciándose un considerable aumento a lo largo del cauce del río. Este comportamiento se debió, entre otros factores, al crecimiento poblacional y la no existencia de un sistema de alcantarillado que implica que todo es vertido al río directamente. Para los *sólidos totales* tomados en cada punto se observa un aumento entre los puntos 1 y 2, lo que se debe fundamentalmente al grado de contaminación que va adquiriendo el cuerpo de agua.

El parámetro de *turbidez*, que es uno de los más importantes al momento de estudiar la calidad del agua, pues indica si existe o no contaminación en los cuerpos de agua. A medida que se encuentre más sucio, el nivel de turbidez será más alto. En el caso de los puntos muestreados los valores obtenidos aumentan ligeramente entre los puntos 1 y 2, indicando que el río Illuchi posee sólidos en suspensión.

DISCUSIÓN

Con referencia a los resultados obtenidos del índice de calidad del agua, estos se relacionan con los niveles de contaminación obtenidos con el *índice trófico de calidad del agua* de las especies de *diatomeas epilíticas* encontradas en cada uno de los puntos de muestreo del río Illuchi. Para el índice de calidad del agua del punto 1 se obtuvo un resultado de 70.18 con una calificación de *regular*, mientras que en el punto 2 se obtuvo un valor de 52.2 y una calificación de *regular* y por último en el punto 3 con un valor de 46.8 siendo la calificación *mala*.

Para el *índice trófico de calidad del agua*, se obtuvo para el punto 1 un valor de 1.41 indicando que es de tipo *oligotrófico*, es decir su contaminación es *despreciable*. Para el punto 2 el valor fue de 1.53, siendo *β-mesotrófico*, que representa una *contaminación moderada* y para el punto 3 arrojó un valor de 2.61 con un estado *α-mesotrófico*, que indica *contaminación fuerte*. Del análisis se desprende que para los puntos 2 y 3 se asocian los dos índices analizados, evidenciándose que a medida que aumentan los valores de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos tales como turbidez, fosfatos y coliformes totales se incrementa la cantidad de individuos de *diatomeas epilíticas* en estos trayectos.

Los parámetros que se encuentran elevados en el punto 2 son *nitratos* y *sólidos totales*, debido a las descargas de la producción agrícola de chocho, papa, maíz

y cebada cerca del sector de la hacienda Noelanda, y a factores antrópicos como los desechos de la agricultura y ganadería que son arrojados hacia el río Illuchi sin tratamiento previo. Por otro lado, cabe recalcar que existe un menor porcentaje de incidencia de factores climáticos en el aumento de la clorofila en el punto 1 (laguna de Salayambo) debido a las bajas precipitaciones en el mes de diciembre de acuerdo con los datos obtenidos del Instituto de Meteorología e Hidrología del Ecuador. En el punto 2 este mismo fenómeno hizo que el agua se estanque en el trayecto, ocasionando que se enriquezca de nutrientes, produciendo niveles altos de eutrofización y por ende un incremento en la abundancia de individuos de *diatomeas epilíticas*.

El punto 3 arrojó una calidad del agua mala para el *índice de calidad del agua* y una contaminación fuerte para el *índice trófico de calidad del agua*, esto debido a los vertidos de los ganaderos al río. En la fase de campo se pudo evidenciar la existencia de criaderos de ganado porcino y vacuno cuyos residuos son vertidos directamente al cuerpo de agua. Otros factores importantes que alteran el estado del río Illuchi están relacionados con las actividades recreativas que se realizan, como la pesca deportiva en San Nicolás, cerca del barrio Saragosín, el cual los fines de semana es visitado por turistas nacionales y extranjeros que contaminan el área.

El *índice trófico de calidad del agua* proporcionó resultados sobre los niveles de contaminación. Para el punto 1 es de tipo oligotrófico (contaminación despreciable) y las *diatomeas epilíticas* identificadas

pueden vivir en un ambiente con niveles bajos de nutrientes debido a que la contaminación en este punto es mínima. En el caso del punto 2 es de tipo β -mesotrófico (contaminación moderada) donde la concentración de nutrientes es mesurada y las microalgas encontradas en este trayecto toleran las condiciones ambientales del río. Por último, el punto 3 es de tipo α -mesotrófico (contaminación fuerte) donde las especies diatomeas identificadas tiene un elevado nivel de tolerancia a la contaminación excesiva del río.

Los resultados obtenidos tienen relación con el estudio realizado por Uvillus (2017) en el río La Compañía, cantón Mejía, Pichincha, a niveles de altura similares al del presente estudio, presentando valores similares de contaminación: oligotrófico, β -mesotrófico y α -mesotrófico en los tres puntos muestreados. De ahí que se pudo comprobar que los indicadores bióticos son el complemento de los análisis físicos, químicos y microbiológicos para una adecuada evaluación del *índice de calidad de agua*.

Finalmente, lo expresado en el párrafo anterior concuerda con la investigación de Urrea y Sabater (2009), quienes mencionan que el uso de microorganismos unicelulares como bioindicadores pueden ir desde un control rutinario de la calidad de agua ya sea en ríos, lagos o lagunas, hasta la evaluación del impacto de la contaminación debido a causas naturales o antropogénicas, puesto que estos indicadores bióticos son sensibles a las condiciones ambientales y crecen en cortos periodos de tiempo.

CONCLUSIONES

Durante el estudio se recolectaron 6228 individuos pertenecientes a 31 especies de *diatomeas epilíticas* en los tres puntos de muestreo durante los meses de noviembre-diciembre de 2020 y enero de 2021. En el punto 1 (laguna de Salayambo) se recolectaron 1626 individuos, identificándose 29 especies, de las cuales 8 son abundantes: *Cyclostephanos invisitatus*, *Fragilaria arcus*, *Fragilaria ulna*, *Melosira varians*, *Nitzschia acicularis*, *Nitzschia linearis*, *Rhoicosphenia abbreviata*, *Tabellaria flocculosa*. En el punto 2 (hacienda Noelanda) se colectaron 2579 individuos pertenecientes a 30 especies, de ellas 9 son abundantes: *Achnantheidium minutissimum*, *Cyclostephanos invisitatus*, *Diatoma mesodon*, *Epithemia turgida*, *Fragilaria arcus*, *Grunowia sinuata*, *Melosira varians*, *Pinnularia maior*, *Rhoicosphenia abbreviata*. En el punto 3 (barrio Saragosín) se recogieron 2023 individuos, pertenecientes a 31 especies, de las cuales 7 son abundantes: *Cocconeis lineata*, *Diatoma mesodon*, *Epithemia turgida*, *Fragilaria arcus*, *Fragilaria ulna*, *Gomphonema clavatum*, *Rhoicosphenia abbreviata*.

El *índice de calidad del agua* para el río Illuchi se calculó mediante el estudio de parámetros físicos, químicos y microbiológicos. Por su parte para la obtención de los valores de *índice de calidad del agua* se

utilizó el programa *IQAData*. Ambos indicadores permitieron determinar el uso del agua, clasificando los datos obtenidos teniendo en cuenta los rangos establecidos por Posselt y Ben (2010) sobre calidad del agua. Por consiguiente, para el punto 1, se obtuvo una media de 70.18 indicando una calificación de *regular*, que puede ser destinada para consumo humano previo tratamiento y para el riego agrícola. En el punto 2 la calificación fue *regular* con un valor medio de 52.2; con una diversidad baja de vida acuática y uso exclusivo para riego agrícola y ganadería. Por último, en el punto 3 la media fue de 46.87, recibiendo una calificación de *mala*, es decir que el agua no se encuentra en condiciones para el consumo humano y como alternativa en comparación con la normativa ambiental su uso recomendado es para riego agrícola.

El *índice trófico de calidad del agua* fue obtenido mediante la identificación de *diatomeas epilíticas* y su concentración, dando como resultado para el punto 1 un valor de 1.41 correspondiendo al tipo *Oligotrófico* con una contaminación despreciable. En el punto 2 el valor es de 1.53 siendo *β-mesotrófico*, es decir contaminación *moderada* y el punto 3 dio un valor de 2.61 que indica un estado *α-mesotrófico* con una contaminación fuerte.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andrade, A. A. (2018). La ciencia en otras palabras: Diatomeas. *Revista de Divulgación Saber Más*, 7(39), 55-56. <https://bit.ly/3jeZFc0>
- Castillejo, P., Chamorro, S., Paz, L., Heinrich, C., Carrillo, I., Salazar, J. G., Navarro, J. C. y Lobo, E. A. (2018). Response of epilithic diatom communities to environmental gradients along an Ecuadorian Andean River. *Comptes Rendus Biologies*, 341(4), 256-263. <https://doi.org/10.1016/j.crv.2018.03.008>
- EcuRed. (18 de abril de 2019). *Diatomeas*. Recuperado el 18 de abril de 2019 de <https://www.ecured.cu/Diatomeas>
- Gamarra, O. A., Barrena, M. A., Barboza, E., Rascón, J., Corroto, F. y Taramona, L. A. (2018). Fuentes de contaminación estacionales en la cuenca del río Utcubamba, región Amazonas, Perú. *Arnaldoa*, 25(1), 179-194. <https://bit.ly/37sbf0r>
- Lobo, E. A., Heinrich, C. G., Schuch, M., Düpont, A., Ben, A., Wetzel, C. E. y Ector, L. (2016). Índice Trófico de Qualidade da Água. Guia ilustrado para sistemas lóticos subtropicais e temperados Brasileiros. Universidade de Santa Cruz do Sul. <https://bit.ly/3jf9aaZ>
- Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica. (7 de marzo de 2017). *Las descargas de aguas residuales son controladas por el Ministerio del Ambiente*. <https://bit.ly/3jcEdUQ>
- Ministerio del Ambiente. (2017). *Anexo 2. Norma de calidad ambiental del recurso suelo y criterios de remediación para suelos contaminados, Libro VI de la Calidad Ambiental. Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente (TULSMA)*. Registro Oficial Edición Especial 2 del 31 de marzo del 2003. Última modificación 2017. <https://bit.ly/35S2Hjg>
- Ólafsson, A. (23 de julio de 2019). *Las diatomeas marinas sincronizan su hundimiento para encontrar pareja*. Ministerio de Ciencia e Innovación de España. <https://bit.ly/35Q1DfN>
- Organización Internacional de Normalización. (2014). *Calidad del agua. Muestreo. Parte 6: Guía para el muestreo de ríos y cursos de agua*. ISO 5667-6:2014.
- Pauta-Calle, G., Velazco, M., Gutierrez, D., Vázquez, G., Rivera, S., Morales, O. y Abril, A. (2019). Evaluación de la calidad del agua de los ríos de la ciudad de Cuenca, Ecuador. *Maskana*, 10(2), 76–88. <https://doi.org/10.18537/mskn.10.02.08>
- Posselt, E. L. y Ben, A. (2010). *IQA DATA Versão 2010. Manual do programa*. Universidade de Santa Cruz do Sul. 34 pp

- Sala, S. E., Vouilloud, A. A., Plata-Díaz, Y., Pedraza, E. y Pimienta, A. (2015). Taxonomía y distribución de Diatomeas epilíticas registradas por primera vez en Colombia I. *Caldasia*, 37(1), 125-141. <https://bit.ly/3v02seo>
- Sánchez, E. (20 de agosto de 2019). La amenaza invisible del agua contaminada en el mundo. *El País*. <https://bit.ly/3Kgh0gm>
- Ulloa, F. R. (17 de febrero de 2016). Los seis ríos de Latacunga. *Cotopaxi Nuestro*. <https://bit.ly/3v5dAXm>
- Urrea, G. y Sabater, S. (2009). Epilithic diatom assemblages and their relationship to environmental characteristics in an agricultural watershed (Guadiana River, SW Spain). *Ecological Indicators*, 9(4), 693-703. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2008.09.002>
- Uvillus, S. D. (2017). *Caracterización de la composición florística de diatomeas epilíticas asociadas al grado de eutrofización en el río "la Compañía", cantón Mejía* [Tesis de grado, Universidad Internacional SEK]. Repositorio Institucional <https://bit.ly/3rdesbl>



Hydropower and climate change concerning to the implementation of the First National Determined Contribution in Ecuador

La hidroelectricidad y cambio climático en torno a la implementación de la Primera Contribución Nacional Determinada en Ecuador

Energia hidrelétrica e mudanças climáticas na implementação da Primeira Contribuição Nacional Determinada no Equador

Sebastian Naranjo-Silva / Polytechnic University of Catalonia, Spain / hector.sebastian.naranjo@upc.edu

Omar Rolando Quimbita-Chiluisa / University of Armed Forces, Ecuador / quimbita.omar@gmail.com

Recibido: 14/04/2022

Aceptado: 12/08/2022

Publicado: 22/09/2022

ABSTRACT

Global warming threatens the world's water supplies, posing a significant threat to hydropower generation, however the continuing increase in energy demand due to world population growth and socio-economic development requires this renewable source. The manuscript aims to analyze the future tendency of climate change in hydropower development in five emblematic plants (Coca Codo Sinclair, Manduriacu, Minas San Francisco, Toachi Pilatón, and Delsintagua) concerning the implementation of National Determined Contribution. The article's methodology is exploratory with information on hydropower development in Ecuador since 20 projects are already working, and it presents two qualitative and quantitative approaches. To project the scenarios, we use data according to the Intergovernmental Panel on Climate Change related to three evolution lines A1, B1, and B2. The results show that climate change constitutes one of the most significant challenges in Ecuador faces in meeting the National Determined Contribution because hydropower energy has an inefficiency of 15.8% in the last 20 years. The scenarios show a reduction A1 up to 1909 MW to 2050, in the medium scenario B1 to 2041 MW, and in the conservative scenario B2 to 2132 MW from the total capacity for the emblematic hydropower projects thinker in 2275 MW initially.

Keywords: climate change, energy, environment, hydropower, renewable, sustainable

RESUMEN

El calentamiento global amenaza los suministros de agua del mundo, lo que representa una amenaza significativa para la generación de energía hidroeléctrica. Sin embargo, el continuo aumento de la demanda de energía debido al crecimiento de la población y al desarrollo socioeconómico requiere esta fuente renovable. El artículo tiene como objetivo analizar la tendencia futura del cambio climático en el desarrollo hidroeléctrico en cinco centrales (Coca Codo Sinclair, Manduriacu, Minas San Francisco, Toachi Pilatón y Delsintagua) en relación con la implementación de Contribución Nacional Determinada. La metodología es exploratoria y presenta dos enfoques: cualitativo y cuantitativo. Para proyectar los escenarios utilizamos datos del Panel Intergubernamental de Cambio Climático relacionados con tres líneas de evolución A1, B1 y B2. Los resultados muestran que el cambio climático constituye uno de los desafíos más importantes que enfrenta Ecuador para cumplir con la Contribución Nacional Determinada debido a que la energía hidroeléctrica presenta una ineficiencia del 15.8% en los últimos 20 años. Los escenarios muestran una reducción de la capacidad total para los proyectos hidroeléctricos hasta 2050 cercana a los 1909 MW para A1, de 2041 MW para B1 y 2132 MW en B2.

Palabras clave: cambio climático, energía, hidroelectricidad, medio ambiente, renovables, sostenibles

RESUMO

O aquecimento global ameaça o abastecimento de água do mundo, representando uma ameaça significativa para a geração de energia hidrelétrica. No entanto, o aumento contínuo da demanda de energia devido ao crescimento populacional e ao desenvolvimento socioeconômico exige essa fonte renovável. O artigo pretende analisar a tendência futura das mudanças climáticas no desenvolvimento hidrelétrico em cinco usinas (Coca Codo Sinclair, Manduriacu, Minas San Francisco, Toachi Pilatón e Delsintagua) em relação à implementação da Contribuição Nacional Determinada. A metodologia é exploratória e apresenta duas abordagens: qualitativa e quantitativa. Para projetar os cenários utilizamos dados do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas referentes a três linhas de evolução A1, B1 e B2. Os resultados mostram que a mudança climática constitui um dos desafios mais importantes que o Equador enfrenta para cumprir a Contribuição Nacional Determinada porque a energia hidrelétrica apresenta uma ineficiência de 15,8% nos últimos 20 anos. Os cenários mostram uma redução na capacidade total dos projetos hidrelétricos até 2050 de aproximadamente 1.909 MW para A1, 2.041 MW para B1 e 2.132 MW para B2.

Palavras chave: energia, hidroeletricidade, meio ambiente, mudança climática, renovável, sustentável

INTRODUCCIÓN

Globally, there are still around 22% of households without access to electricity, according to the International Energy Agency this represented 1.5 billion people living in remote areas that were often difficult to connect to national or regional grids in 2008. In developing countries, it is estimated that 85% of the population lives in rural areas, mostly peri-urban and remote rural areas (Niez, 2010; Berga, 2016).

However, the scientists mentioned that the 2004 year is different, set against the backdrop of the crisis caused by the COVID-19 pandemic. A 2021 survey of more than 2500 energy leaders from 108 countries mentioned that the world needs an energy transition from renewables agenda, identifying the risks, opportunities, and action priorities for their sector (Lohrmann *et al.*, 2021; World Energy Council, 2004).

In recent years, renewable energy has played a bigger role in producing electricity than ever before. For example, hydropower accounted for 60% of clean energy production in 2018, followed by wind power (21%), solar photovoltaic power (9%), and bioenergy (8%). Overall, installed renewable energy capacity at the end of 2020 was sufficient to supply around 26.2% of global electricity production (International Hydropower Association, 2021).

Moreover, hydropower resource utilization nowadays holds a high position in the global electric power balance. After the Second World War, electric power production by hydropower projects was rapidly increasing:

from 200 TWh in 1946 to 860 TWh in 1965, and from 975 TWh in 1978 to 4370 TWh in 2020 worldly (International Renewable Energy Agency, 2020; Naranjo-Silva & Álvarez, 2022). In the last 55 years, hydropower generation has been growing more 408%.

Nevertheless, the hydropower potential is still under used. With the project's production data, the International Hydropower Association determined that 74% of the potential in developing regions had not yet been built. Even with the continued advance over the last ten years (mainly in Asia and Latin America), most of the world's potential capacity has not been developed (International Hydropower Association, 2018). For example, in 2012, the global generation of hydropower was 3670 TWh, but the global technical potential is approximately four times that amount, around 14 680 TWh (International Hydropower Association, 2021).

Hydropower is a clean, renewable technology that can offer profits, such as water supply, flood control, economic development, and recreation (Hartmann, 2020). But the expected and continuous changes in hydrology are at the core of the relationship among hydropower and climate change (Naranjo-Silva & Álvarez, 2021b).

There is unfortunately another challenge that needs to be addressed together with trying to reintroduce renewable energies, and in particular hydropower. According to the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), climate change and greenhouse ga-

ses are trapping heat, accelerating the level of global warming in an aggressive and agile manner, and reducing the water required for the constant hydrological cycle needed for life (Jabbari & Nazemi, 2019; Uamusse *et al.*, 2020).

Climate change has been one of the core stimuli that brand societies change how they use natural resources sensitive to climate variations (Shove, 2010). Society adapts to changes when necessary to survive, and the consumption patterns of the most natural resources are no longer considered sustainable if new lifeways are not adopted (Antwi & Sedegah, 2018).

Thus, with the promotion of hydropower and taking precautions against the impacts of climate change, in 2019, the Ministry of Environment, Water and Ecological Transition of Ecuador presented the First National Determined Contribution (NDC) as a tool that has an objective to guide the application

of the actions at the national, sectorial and local levels that encourage the reduction of greenhouse gases, as well as the increase in adaptive capacity and risk reduction in the adverse effects, the face of climate change in the prioritized sectors, including the energy sector (Ministry of the Environment, 2019; Llerena-Montoya *et al.*, 2021).

One of the impacts related to the National Plan for the Complementation of the Determined Contribution is that there are past extreme events related to rainfall that would cause that the 15.9% of the area is under flood risk of 15.9% of the national surface, in which 49.5% of the total population would settle of the country (Ministry of Environment and Water, 2021). To this end, said Ministry offers the following trend according to information on the initiatives of the energy sector:

Table 1. First initiative and strategy of the National Determined Contribution, Ecuador in the energy sector.

Initiative	Scenario	Description	GHG reduction potential in 2025 [Gg CO ₂ -eq/year]	Estate
Central Development	Unconditional	Hydroelectric unconditional use of water resources for electricity generation in 2275 MW of power	6000	Being implemented (operating)

Note: GHG: Green House Gasses.

Source: Ministry of Environment and Water (2021).

The potential for reducing *greenhouse gasses* emissions due to the displacement of diesel used in electricity generation is considered. The plants are assumed to correspond to

that power installed from 2010 to November 2018 (Emblematic Projects) and will operate between 2020 and 2025, and the specific projects are listed in *table 2*. According to the

Table 2. Emblematic hydropower projects determined by National Determined Contribution.

No.	Project	Capacity (MW)	Ubication States	State
1	Coca Codo Sinclair	1500	Napo and Sucumbíos	In operations, November 2016
2	Minas San Francisco	275	Azuay and El Oro	In operations, January 2019
3	Toachi Pilatón	255	Santo Domingo	In construction
4	Delsitanisagua	180	Zamora Chinchipe	In operations, December 2018
5	Manduriacu	65	Pichincha and Imbabura	In operations, March 2015
Total [MW]		2275	-	-

Note: GHG: Green House Gasses.

Source: Ministry of the Environment (2017).

Implementation Plan of the First National Determined Contribution of Ecuador for 2020-2025, the country is susceptible to the effects of climate change and is threatened due to its social, economic, and environmental conditions due to the increasingly frequent and intense rainfall and extreme temperatures (Ministry of Environment and Water, 2021; Rivera-González *et al.*, 2020).

Hence, this paper presents historical energy hydropower data of Ecuador and aims to analyze the future tendency of climate change in hydropower development in five emblematic plants (Coca Codo Sinclair, Manduriacu, Minas San Francisco, Toachi Pilatón, and Delsintagua) concerning to the implementation the National Determined Contribution of this Latin American country in the energy sector as the first strategy.

METHODOLOGY

The article's methodology is exploratory, collecting information and processing it on the specific topic of hydropower development in Ecuador, and it is presented with two qualitative and quantitative approaches. For example, the qualitative part gives notions and defini-

tions of the hydropower development of Ecuador and the future perspectives.

In the quantitative part, the energy production data of the last twenty years are recovered from 20 hydropower plants determined indicators of difference in energy production to final project this percentage at the five emblematic plants contemplated in the National Determined Contribution of Ecuador to operate until 2025.

To calculate the future, we do a percentual difference of the last 20 years, knowing the energy production of the actual hydropower plants working, dividing the energy data into periods of 10 years, have a variance (increase/decrease) of 2000-2010 and 2010-2020, calculating the discrepancies between these two periods. The average of each of the last decades is executed to look for a trend and thus be able to project future analyses.

Moreover, to project the upcoming difference conservatively to the emblematic plants, the data according to the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) scenarios that mention climate change can have fluctuations related to evolution lines divided into four groups (A1, A2, B1, and B2). The A-line presents a pessimistic scenario where emissions are maintained or increase in the future. The

evolution line B represents an optimistic scenario in which greenhouse gasses emissions are reduced worldwide (Alley *et al.*, 2007; Arango-Aramburo *et al.*, 2019). In this context, besides explaining the IPCC scenarios in groups to emulate our future analyses.

Table 3. *Climate change scenarios according to the IPCC.*

Line	Description	Indicator
A1.	According to this evolutionary family, the world will experience rapid economic growth, and the population of the world will peak around the mid-century and decline after the rapid introduction of new and more efficient technologies. As a result, there are several distinguishing features that seem to have emerged. These include convergence between regions, capacity building, cultural and social interaction, and a significant reduction in the differences in per capita income between regions.	It is the most aggressive future evolutionary line of world changes, where any projection and trend are accepted at 80% of changes.
A2.	Scenario A2 describes a very assorted world, the most distinguishing characteristics being self-sufficiency and preservation of local entities. Despite the fact that patterns across regions converge very slowly, there has been a continuous rise in the world population. The focus of economic development is on regions and not on countries, and it is per capita that matters most.	Economic growth and technological change are fragmented and slower than in other evolutionary lines.
B1.	The B1 family of storylines describes a converging world with the same global population peaking around mid-century and falling after that, as in the A1 storyline, but with rapid changes in economic structures oriented toward the service economy and information, accompanied by less intensive use of materials and the introduction of clean technologies, with efficient use of resources. Global solutions aimed at economic, social, and environmental sustainability and greater equality are dominant, but in the absence of additional climate initiatives.	The average evolutionary line is based on ecological aspects; any projection and trend are accepted at 50% of changes.
B2.	A world where local solutions dominate economic, social, and environmental sustainability is described by the B2 scenarios. Compared to B1 and A1, its population is growing at a slower pace, its economic development is on an intermediate level, and its technological development is slower and more diverse. There is an emphasis on environmental preservation and social equality in this scenario, but it focuses mainly on local and regional levels in order to achieve environmental protection and social equality.	This evolutionary line is the most conservative based on ecological aspects and the use of resources in a sustainable way, the projections of change are acknowledged at 30% of deviations.

Source: Alley *et al.* (2007); Arango-Aramburo *et al.* (2019) y United Nations (s.f.)

In our methodology, at the researcher's criterion, we just take lines A1, B1, and B2 because we believe that these are the evolution aspects more realistic for the future scenarios when the projections depending on the region evolution with gradual changes, accelerated in some sectors and slow in others, in addition to criteria of divided economic growth marked by developed countries and partially by developing countries.

Moreover, the reduction percentage and variation are from the researcher's assumptions with the consulting data of IPCC. On the other hand, a reflection of the qualitative issues is generated on scientific bases. The ideas and conclusions of various studies on climate change and hydroelectricity were obtained and collected to integrate into the discussion of the manuscript.

In both approaches, the National Determined Contribution of Ecuador determines the five analyzed projects, contributing to the inter-

connected national system of 2275 MW and a projection of the future capacity to 2050 (Corporación Eléctrica de Ecuador, 2021).

RESULTS

As mentioned in the methodology, the historical behavior of the plants over the last 20 years is first understood to analyze future hydroelectric production. To do energy examination, we use data from the Ministry of Energy to 20 hydropower projects in Ecuador, doing the specification of energy generated in MWh to 2000, 2010, and 2020 in *table 4*.

Table 4. Energy production, in MWh, of hydropower in Ecuador.

No.	Hydropower project	2000	2010	2020
1	Agoyán	1,022,213	914,900	946,800
2	Alao	78,328	80,300	80,688
3	Ambi	25,323	26,400	34,283
4	Carlos Mora	15850	15,600	15,000
5	Chillos	15,268	12,510	13,894
6	Cumbaya	180,626	140,570	117,393
7	El Estado	8,541	7,230	9,479
8	Guangopolo	92,596	65,330	57,093
9	Illuchi 1	20,598	17,930	21,771
10	Illuchi 2	26,414	20,840	26,104
11	Marcel Lanido	547,409	773,790	878,780
12	Nayón	164,948	115,460	104,726
13	Paschoa	32,897	23,900	22,839
14	Paute	4,865,426	4,048,760	3,842,160
15	Península	15791	10,020	12,405
16	Pucara	224,653	141,940	234,720
17	Río Blanco	17,493	20,860	8,892
18	San Miguel de Car	20,395	17,740	3,728
19	Saucay	118,108	101,670	115,530
20	Sayamin	94,941	71,560	90,650

Source: Prepared by the author.

As shown in *table 4*, we have the data of 20 hydropower projects in Ecuador over the last 20 years and the energy tendency divided into ten-year periods to calculate the percentual difference (increase/decrease). Finally, we

make an average between 2000-2010 and 2010-2020 in *table 5*. The key is finding the energy production's tendency (amplified or reduced) around these 20 years.

Table 5. Energy production tendency in MWh of hydropower in Ecuador.

No.	Hydropower project	Tendency 1 2000-2010	Tendency 2 2010-2020	Average difference Tendency (1-2)
1	Agoyan	-11.7%	3.4%	-4.2%
2	Alao	2.5%	0.5%	1.5%
3	Ambi	4.1%	23.0%	13.5%
4	Carlos Mora	-1.6%	-4.0%	-2.8%
5	Chillos	-22.0%	10.0%	-6.0%
6	Cumbaya	-28.5%	-19.7%	-24.1%
7	El Estado	-18.1%	23.7%	2.8%
8	Guangopolo	-41.7%	-14.4%	-28.1%
9	Illuchi 1	-14.9%	17.6%	1.4%
10	Illuchi 2	-26.7%	20.2%	-3.3%
11	Marcel Lanido	29.3%	11.9%	20.6%
12	Nayon	-42.9%	-10.2%	-26.6%
13	Paschoa	-37.6%	-4.6%	-21.1%
14	Paute	-20.2%	-5.4%	-12.8%
15	Península	-57.6%	19.2%	-19.2%
16	Pucara	-58.3%	39.5%	-9.4%
17	Rio Blanco	16.1%	-134.6%	-59.2%
18	San Miguel de Car	-15.0%	-375.9%	-195.4%
19	Saucay	-16.2%	12.0%	-2.1%
20	Sayamin	-32.7%	21.1%	-5.8%
Total average				-19.0%

Source: Prepared by the author.

The energy results are part of the variations that reduce the energy efficiency of each project, as the analysis of the Ministry of Environment, Water and Ecological Transition of Ecuador did in the National Determined Contribution plan that mentions climate change is a big threat to energy systems (Ministry of Environment and Water, 2021). The tabulation results between the two periods of 10 years give us a global hydropower generation reduction of 19%, a percentage that in 20 years can be projected to the capacity of the emblematic hydropower projects.

Moreover, the total average means each year of a 0.95% energy reduction in hydropower production. For the projects to be in opera-

tion until 2025 from the National Determined Contribution, we can throw a future decrease with the tendency calculated in Table 5. Thus, we need the temperature and precipitation information, the official trends establish that climate change is a worldwide problem, and Ecuador is not unaware. To the reference period 1960 – 2015, the rains increased on the Coast by 33%; Sierra by 13%, and only in the Amazon was a 1% reduction in rainfall where rains were previously common (Ministry of the Environment, 2019; Naranjo-Silva, Punina, Álvarez, 2022).

As a result, making a lineal reduction with the different scenarios as illustrated in *table 3*, we project a capacity to 2050 around the besides

calculus for the emblematic projects, called emblematic by the capacity that changed in a notable way the renewables increase in energy grid of Ecuador.

Table 6. Capacity projection in MW to 2050 of emblematic hydropower plants – A1 scenery.

Period	Coca Codo Sinclair	Minas San Francisco	Toachi Pilatón	Delsintagua	Manduriacu	Total capacity [MW]
2023-2030	1,420	260	241	170	62	2,154
2030-2040	1,312	241	223	157	57	1,990
2040-2050	1,213	222	206	146	53	1,839

Source: Prepared by the author.

In addition, doing a scenario of just the reduction of the 50% percent that is 0.48%, and 30% represents 0.29% of each year's reduction presents the following series:

Table 7. Capacity projection in MW to 2050 of emblematic hydropower plants – B1 scenery.

Period	Coca Codo Sinclair	Minas San Francisco	Toachi Pilatón	Delsintagua	Manduriacu	Total Capacity [MW]
2023-2030	1,450	266	247	174	63	2,199
2030-2040	1,381	253	235	166	60	2,095
2040-2050	1,316	241	224	158	57	1,995

Source: Prepared by the author.

Table 8. Capacity projection in MW to 2050 of emblematic hydropower plants – B2 scenery.

Period	Coca Codo Sinclair	Minas San Francisco	Toachi Pilatón	Delsintagua	Manduriacu	Total Capacity [MW]
2023-2030	1,470	270	250	176	64	2,230
2030-2040	1,428	262	243	171	62	2,166
2040-2050	1,387	254	236	166	60	2,104

Source: Prepared by the author.

On the other hand, the conception of the emblematic projects means that these hydropower plants will drastically change Ecuador's energy grid by their capacity to integrate clean energy into national consumption. They are also presented as the largest constructions and investments in infrastructure over the last years (Vaca-Jiménez *et al.*, 2019). With the background of the hydropower development in the unconditional energy scenario and the first strategy, next analyzing each project's state, benefits, and problems related to com-

plying with the first initiative of the National Determined Contribution of Ecuador with compliance of 2019 goals sets.

DISCUSSION

As the results show, in the five projects established as emblematic by Ecuador in the First National Determined Contribution, the biggest problem is the delay in work execution; some operate but are not at 100% capacity. Moreover, the results of the 20 hydropower projects show a future reduction, due to the climate change, in the generation parameter

that will not allow the real capacity of the emblematic plants (Coca Codo Sinclair, Manduriacu, Minas San Francisco, Toachi Pilatón, and Delsintagua). The variable aspects due to the changing climate, it is pertinent to clarify that hydropower energy depends on the availability of natural resources and their interaction with precipitation to play an essential protagonist in the runoff of flows; all these aspects represent an obstacle to achieve the National Determined Contribution goal with the emblematic hydropower projects in Ecuador (Naranjo-Silva & Álvarez, 2021a; Villamar et al., 2021).

Overall, the results of *table 6, 7 and 8* of each projection show a reduction in the projected capacity. However, it depends on the Ecuadorian Government's need to apply to mitigate actions on the hydropower developments to corroborate these results. We can compare with Van Vliet's study that presents a vulnerability assessment of the world's current hydropower generation system to climate change affecting water resources, testing water and energy adaptation options during the 21st century. Using hydrological-electric modeling coupled with data on 24,515 hydroelectric plants globally, it showed reductions in usable capacity between 61–74% for hydropower plants worldwide for the scenario of time 2040–2069 by the climate change (van Vliet, van Beek et al., 2016; van Vliet, Wiberg et al., 2016).

In addition, comparing our results from *tables 6 to 8*, we have the research of Carvajal in 2019 year, whose show that hydropower energy generates impacts by using environmental conditions, and it is evident that the deployment of hydroelectricity indicates uncertainty in the global climate model shows that for Ecuador the hydropower energy would vary significantly between 53% and 81% by 2050,

which means that Ecuador's National Determined Contribution goal would be achieved without the distribution of a large hydroelectric infrastructure, but rather through a more diversified energy group (Carvajal et al., 2019; Carvajal & Li, 2019).

In 2005, the World Bank conducted a study that examined the multiplier effects of large hydropower projects in several countries. This report indicates that hydropower multipliers range from 1.4 to 2.0, which means that for every dollar invested in dam-related activities, 40 to 100 cents can be generated indirectly in the region for every dollar invested (Edenhofer et al., 2011; Schaeffer et al., 2013). Hence, it is estimated that this type of renewable energy would require a billion dollars to compensate for the deterioration caused by climate change in the last 18 years of hydropower generation (Turner et al., 2017).

According to the scenarios projected by the Inter-American Development Bank in many countries, hydropower will be susceptible to the climatic variations. It will lose efficiency due to climate change, reduction of water causes, and it will conclude to be the main source of supply, for which it will become a facilitator of other renewable energies, which will benefit both environmentally and in the reduction of other impacts (Banco Interamericano de Desarrollo, s.f.). It means that the role of hydropower will gradually shift from a firm source of production that covers a growing demand to a flexible source that complements other renewable energy sources, such as wind, geothermal, solar, and tidal.

Across the world, with millions of people, there are high vulnerabilities to the current and expected effects of climate change that often affect the poorest. Climate change will affect

precipitation, increase the melting of snow and glaciers, change evaporation fluxes, and disrupt the natural water cycle, creating a complex uncertainty for water resource management and hydroelectric development (Zhang *et al.*, 2018; Naranjo-Silva *et al.*, 2022).

Climate change influences all existing hydropower plants and possible future projects; therefore, new projects have greater freedom to generate design choices. Future lines can determine the climate simulations and related effectiveness to a changing environment that needs adaptation parameters.

CONCLUSIONS

The presented scenarios show a lineal reduction denominated A1 that can accumulate up to 1839 MW to 2050, in the medium scenario denominated B1 the capacity can show up to 1995 MW, and in the conservative scenario B2 up to 2104 MW. The total capacity for the five emblematic hydropower projects (Coca Codo Sinclair, Manduriacu, Minas San Francisco, Toachi Pilatón, and Delsintagua) that were thought of at 2275 MW initially. Therefore, the projection has a percentual reduction to 2050

of 19%, 12 and 8% of their capacities to the scenarios A1, B1, and B2 respectively.

As a climatically sensitive technology, hydropower contributes significantly to reducing global climate change. However, it is becoming increasingly inefficient due to climatic variations, which are becoming more prominent, as seen in Ecuador's power generation trend during the last two decades.

Climate change constitutes one of Ecuador's most significant challenges to meet the goals of the National Determined Contribution projected in the energy sector by hydropower production to the inefficiency calculated in 19% accentuated in the last 20 years in 20 projects presented in *table 5*.

The National Determined Contribution implementation plan can be actualized every two years to control the hydropower energy production to know the real carbon reduction capacity and the projected efficiency. With our calculations, the five projects are affected by the climate change impacts with the historical data.

BIBLIOGRAPHIC REFERENCES

- Alley, R. B., Berntsen, T., Bindoff, N. L., Chen, Z., Chidthaisong, A., Friedlingstein, P., Gregory, J. M., Hegerl, G. C., Heimann, M., Hewitson, B., Hoskins, B. J., Joos, F., Jouzel, J., Kattsov, V., Lohmann, U., Manning, M., Matsuno, T., Molina, M., ... Zwiers, F. (2007). *Resumen para Políticas Responsables de los Expertos sobre Cambio Climático*. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático <https://bit.ly/3QGKGpN>
- Antwi, M., & Sedegah, D. D. (2018). Climate change and societal change—impact on hydropower energy generation. In A. Kabo-Bah and Ch. J. Diji (Ed.), *Sustainable hydropower in West Africa: planning, operation, and challenges* (pp. 63–73). Elsevier. <https://doi.org/h76q>
- Arango-Aramburo, S., Turner, S. W. D., Daenzer, K., Ríos-Ocampo, J. P., Hejazi, M. I., Kober, T., Álvarez-Espinosa, A. C., Romero-Otalora, G. D., & van der Zwaan, B. (2019). Climate impacts on hydropower in Colombia: A multi-model assessment of power sector adaptation pathways. *Energy Policy*, 128, 179–188. <https://doi.org/ggvnfz>

- Banco Interamericano de Desarrollo. (s.f.). *Energía sostenible, confiable y diversificada para América Latina y el Caribe*. Recuperado el 6 de julio de 2022 de <https://bit.ly/3w3F7Km>
- Berga, L. (2016). The role of hydropower in climate change mitigation and adaptation: A review. *Engineering*, 2(3), 313–318. <https://doi.org/ghk54p>
- Carvajal, P. E., & Li, F. G. N. (2019). Challenges for hydropower-based national determined contributions: a case study for Ecuador. *Climate Policy*, 19(8), 974–987. <https://doi.org/h76s>
- Carvajal, P. E., Li, F. G. N., Soria, R., Cronin, J., Anandarajah, G., & Mulugetta, Y. (2019). Large hydropower, decarbonisation and climate change uncertainty: Modelling power sector pathways for Ecuador. *Energy Strategy Reviews*, 23, 86–99. <https://doi.org/ggiv9j>
- Corporación Eléctrica del Ecuador. (14 de enero de 2021). *CELEC EP genera y transmite más del 90 por ciento de la energía eléctrica limpia que consume el país y exporta a los países vecinos*. <https://bit.ly/3dpDNLb>
- Edenhofer, O., Pichs-Madruga, R., Sokona, Y., Seyboth, K., Kadner, S., Zwickel, T., Eickemeier, P., Hansen, G., Schlömer, S., von Stechow, C., & Matschoss, P. (2011). *Renewable energy sources and climate change mitigation: Special report of the intergovernmental panel on climate change*. Cambridge University Press. <https://doi.org/cdkjg8>
- Hartmann, J. (2020). *Manual de Entrenamiento sobre Cambio Climático e Hidroenergía*. Proyecto AICCA. Ministerio del Ambiente y Agua de Ecuador/Consortio para el Desarrollo Sostenible de la Ecorregión Andina (CONDESAN) (p. 1012). <https://bit.ly/3K1yXA8>
- International Hydropower Association. (2018). *Hydropower Sustainability Guidelines on Good International Industry Practice*. <https://bit.ly/2PXZdh5>
- International Hydropower Association. (2021). *2021 Hydropower Status Report. Sector trends and insights*. <https://bit.ly/3pk8h3P>
- International Renewable Energy Agency. (2020). *Renewable Energy Statistics 2020*. <https://bit.ly/3phP1E7>
- Jabbari, A. A., & Nazemi, A. (2019). Alterations in Canadian hydropower production potential due to continuation of historical trends in climate variables. *Resources*, 8(4), 163. <https://doi.org/h77b>
- Llerena-Montoya, S., Velastegui-Montoya, A., Zhirzhan-Azanza, B., Herrera-Matamoros, V., Adami, M., de Lima, A., Moscoso-Silva, F., & Encalada, L. (2021). Multitemporal analysis of land use and land cover within an oil block in the Ecuadorian Amazon. *International Journal of Geo-Information*, 10(3). <https://doi.org/h77c>

- Lohrmann, A., Child, M., & Breyer, Ch. (2021). Assessment of the water footprint for the European power sector during the transition towards a 100% renewable energy system. *Energy*, 233(15), 121098. <https://doi.org/gkbvms>
- Ministry of the Environment. (2017). *Estrategia nacional para el cambio climático de Ecuador 2012-2025*. <https://bit.ly/3REgo88>
- Ministry of the Environment. (2019). Contribution Nationally Determined: Ecuador. <https://bit.ly/3B9jyK1>
- Ministry of Environment and Water. (2021). Plan de Implementación de la Primera Contribución Determinada a Nivel Nacional del Ecuador 2020-2025 (PI-NDC). <https://bit.ly/3QKcFEt>
- Naranjo-Silva, S., & Álvarez, J. (2021a). An approach of the hydropower: Advantages and impacts. A review. *Journal of Energy Research and Reviews*, 8(1), 10–20. <https://doi.org/h77f>
- Naranjo-Silva, S., & Álvarez, J. (2021b). Hydropower: Projections in a changing climate and impacts by this “clean” source. *CienciAmérica*, 10(2), 32. <https://doi.org/h77g>
- Naranjo-Silva, S., & Álvarez, J. (2022). The American continent hydropower development and the sustainability: A Review. *International Journal of Engineering Science Technologies*, 6(2), 66–79. <https://doi.org/h77j>
- Naranjo-Silva, S., Punina, D. J., & Álvarez, J. (2022). Comparative cost per kilowatt of the latest hydropower projects in Ecuador. *InGenio Journal*, 5(1), 1–14. <https://doi.org/h77q>
- Naranjo-Silva, S., Rivera-Gonzalez, L., Escobar-Segovia, K., Quimbita-Chiluisa, O., & Álvarez, J. (2022). Analysis of water characteristics by the hydropower use (up-stream and downstream): A case of study at Ecuador, Argentina, and Uruguay. *Journal of Sustainable Development*, 15(4), 71. <https://doi.org/h77r>
- Niez, A. (2010). *Comparative study on rural electrification policies in emerging economies: Keys to successful policies*. International Energy Agency. <https://bit.ly/3SQeEJN>
- Rivera-González, L., Bolonio, D., Mazadiego, L. F., Naranjo-Silva, S., & Escobar-Segovia, K. (2020). Long-term forecast of energy and fuels demand towards a sustainable road transport sector in Ecuador (2016-2035): A LEAP model application. *Sustainability*, 12(2), 472. <https://doi.org/h77s>
- Schaeffer, R., Szklo, A., Lucena, A., Soria, R., & Chávez-Rodríguez, M. (2013). The vulnerable Amazon: The impact of climate change on the untapped potential of hydropower system. *IEEE Power & Energy Magazine*, 11(3), 10. <https://doi.org/h77t>

- Shove, E. (2010). Beyond the ABC: Climate change policy and theories of social change. *Environment and Planning A: Economy and Space*, 42(6), 1273-1285. <https://doi.org/cj9fjq>
- Turner, S. W. D., Hejazi, M., Kim, S. H., Clarke, L., & Edmonds, J. (2017). Climate impacts on hydropower and consequences for global electricity supply investment needs. *Energy*, 141(15), 2081–2090. <https://doi.org/gcxkhq>
- Uamusse, M. M., Tussupova, K., & Persson, K. M. (2020). Climate change effects on hydropower in Mozambique. *Applied Sciences*, 10(14), 4842. <https://doi.org/gjdndj>
- United Nations. (s.f.). *Climate Change*. <https://bit.ly/3DjZiI6>
- Vaca-Jiménez, S., Gerbens-Leenes, P. W., & Nonhebel, S. (2019). The water footprint of electricity in Ecuador: Technology and fuel variation indicate pathways towards water-efficient electricity mixes. *Water Resources and Industry*, 22, 100112. <https://doi.org/ggfv9n>
- van Vliet, M. T. H., van Beek, L. P. H., Eisner, S., Flörke, M., Wada, Y., & Bierkens, M. F. P. (2016). Multi-model assessment of global hydropower and cooling water discharge potential under climate change. *Global Environmental Change*, 40, 156–170. <https://doi.org/f84jww>
- van Vliet, M. T. H., Wiberg, D., Leduc, S., & Riahi, K. (2016). Power-generation system vulnerability and adaptation to changes in climate and water resources. *Nature Climate Change*, 6, 375–380. <https://doi.org/bbsp>
- Villamar, D., Soria, R., Rochedo, P., Szklo, A., Imperio, M., Carvajal, P., & Schaeffer, R. (2021). Long-term deep decarbonization pathways for Ecuador: Insights from an integrated assessment model. *Energy Strategy Reviews*, 35, 100637. <https://doi.org/h77x>
- World Energy Council. (2004). *Comparison of energy systems using life cycle assessment. A special report of the World Energy Council*. <https://bit.ly/3DilbaL>
- Zhang, X., Li, H. Y., Deng, Z. D., Ringler, C., Gao, Y., Hejazi, M. I., & Leung, L. R. (2018). Impacts of climate change, policy and water-energy-food nexus on hydropower development. *Renewable Energy*, 116(A), 827–834. <https://doi.org/gf4tbj>



Hacia la sustentabilidad ambiental en zonas habitacionales. El caso de San Andrés Cholula, Puebla, México

Towards environmental sustainability in residential areas. The case of San Andrés Cholula, Puebla, México

Rumo à sustentabilidade ambiental em áreas residenciais. O caso de San Andrés Cholula, Puebla, México

Zoraida Helena Orea Ovalle / Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México / zoraida.orea@alumno.buap.mx

María de Lourdes Flores Lucero / Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México / lulu.lucero@gmail.com

María Lourdes Guevara Romero / Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México / lourdes.guevara@correo.buap.mx

Recibido: 10/11/2021

Aceptado: 26/6/2022

Publicado: 24/7/2022

RESUMEN

En México existen normativas a escala nacional que plantean estrategias en pro de la sustentabilidad ambiental, sin embargo, difícilmente permean a la escala local. Por su parte, algunos promotores privados desarrollan incipientes iniciativas de prácticas ambientales en los desarrollos habitacionales, utilizando ecotecnologías, pero carecen de un marco normativo-administrativo claro que las impulse y regule. Actualmente, México vive un cambio político importante que muestra una visión diferente con un enfoque social y ambiental, que permite vislumbrar cambios importantes para impulsar las prácticas hacia la sustentabilidad ambiental. El objetivo de este artículo es mostrar, a través del caso del municipio de San Andrés Cholula, Puebla, los principales obstáculos políticos, administrativos y técnicos a los que se enfrentan los promotores inmobiliarios para implementar ecotecnologías en zonas habitacionales, así como los avances en dicha materia. La metodología es cualitativa, basada en la investigación- acción, y las técnicas fueron la revisión documental, recorridos de campo y entrevistas semidirigidas a actores clave. Entre los principales resultados destacan la deficiente normativa que no permite al gobierno local orientarse para implementar ecotecnologías y la intención del nuevo gobierno de avanzar en esta materia, a pesar de vicios añejos de «regulación» de la acción ambiental.

Palabras clave: ecotecnologías, gestión gubernamental, normativa ambiental, prácticas sustentables

ABSTRACT

In Mexico there are regulations at the national level that propose strategies for environmental sustainability, however, they hardly permeate the local scale. For their part, some private promoters develop incipient initiatives of environmental practices in housing developments, using eco-technologies, but they lack a clear normative-administrative framework that promotes and regulates them. Currently, Mexico is undergoing an important political change that shows a different vision with a social and environmental approach, which allows us to glimpse important changes to promote practices towards environmental sustainability. The objective of this article is to show, through the case of the municipality of San Andrés Cholula, Puebla, the main political, administrative and technical obstacles faced by real estate developers to implement eco-technologies in residential areas, as well as the advances in said matter. The methodology is qualitative based on action research, and the techniques were documentary review, field trips and semi-directed interviews with key actors. Among the main results are the deficient regulations that do not allow the local government to guide itself to implement eco-technologies, and the intention of the new government to advance in this matter despite old vices of "regulation" of environmental action.

Keywords: ecotechnologies, environmental regulations, government management, sustainable practices

RESUMO

No México existem regulamentações em nível nacional que propõem estratégias de sustentabilidade ambiental, porém, dificilmente permeiam a escala local. Por sua vez, alguns promotores privados desenvolvem iniciativas incipientes de práticas ambientais em empreendimentos habitacionais, utilizando ecotecnologias, mas carecem de um quadro normativo-administrativo claro que as promova e regule. Atualmente, o México está passando por uma importante mudança política que mostra uma visão diferente com foco social e ambiental, o que nos permite vislumbrar mudanças importantes para promover práticas voltadas para a sustentabilidade ambiental. O objetivo deste artigo é mostrar, através do caso do município de San Andrés Cholula, Puebla, os principais obstáculos políticos, administrativos e técnicos enfrentados pelos promotores imobiliários para implementar ecotecnologias em áreas residenciais, bem como os avanços no referido assunto. A metodologia é qualitativa baseada na pesquisa-ação, e as técnicas foram revisão documental, saídas de campo e entrevistas semidirigidas com atores-chave. Entre os principais resultados estão as regulamentações deficientes que não permitem que o governo local se oriente para a implantação de ecotecnologias, e a intenção do novo governo de avançar nessa questão apesar de antigos vícios de "regulamentação" da ação ambiental.

Palavras chave: ecotecnologias, gestão governamental, práticas sustentáveis, regulamentações ambientais

INTRODUCCIÓN

La adopción de la sustentabilidad ambiental como objetivo representa un tema global para todos los países y organismos internacionales. México aborda la sustentabilidad ambiental en su Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024 (Gobierno de la República de México, 2019), como la administración eficiente y racional de los recursos naturales para mejorar el bienestar de la población actual sin comprometer la calidad de vida de las generaciones futuras. Se considera, además, que uno de los principales retos que enfrenta como país es minimizar los efectos de la urbanización acelerada. Este fenómeno ha estado en constante crecimiento y su implicación en el ambiente incluye una exacerbada concentración en la utilización de recursos naturales (Ahumada, 2010). Así, el Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024 plantea poner en práctica medidas necesarias para que todos los proyectos, en específico los de infraestructura y del sector de la construcción, sean compatibles con la protección del ambiente.

Coelho (2019) define a la sustentabilidad ambiental como la administración eficiente y racional en el uso de los recursos naturales, sin por ello comprometer el equilibrio ecológico. Como tal, este concepto plantea que el aprovechamiento que hoy hagamos de nuestros recursos naturales no debe perjudicar ni limitar las necesidades de las generaciones futuras ni de las especies que habitan en el planeta. En este sentido, se considera que un entorno saludable ofrece a la comunidad mayores posibilidades de

desarrollo y bienestar económico y social, y entiende que la degradación de los recursos naturales atenta contra la propia supervivencia del ser humano y de las demás especies.

La Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, en el artículo 115, inciso V establece la facultad que tienen los municipios para

Formular, aprobar y administrar la zonificación y planes de desarrollo urbano municipal; autorizar, controlar y vigilar la utilización del suelo, en el ámbito de su competencia en sus jurisdicciones territoriales; otorgar licencias y permisos para construcciones y participar en la creación y administración de zonas de reservas ecológicas y en la elaboración y aplicación de programas de ordenamiento en esta materia.

Por lo anterior, los municipios tienen hacia el ambiente una responsabilidad directa, inmediata e ineludible. No obstante, existen vacíos normativos que no facilitan, hasta el momento, procesos elementales para avanzar hacia la sustentabilidad ambiental, como la implementación de ecotecnologías en zonas habitacionales. Para demostrarlo, se toma como ejemplo el municipio de San Andrés Cholula, Puebla, México (de aquí en adelante San Andrés).

Por otra parte, en el sector privado se identifican incipientes iniciativas con una visión de sustentabilidad que buscan minimizar los impactos ambientales. Particularmente la utilización de ecotecnologías para la se-

paración de aguas negras, grises y pluviales; construcción de biodigestores para tratar las aguas negras; pozos de absorción para infiltrar aguas pluviales al subsuelo y permitir la recarga del manto freático y la reutilización de aguas grises para riego; que generan importantes cambios en sus procesos constructivos. No obstante, a estos esfuerzos, es difícil encontrar condiciones administrativas, políticas y económicas favorables por parte de las autoridades municipales para implementarlos. Socialmente, aunque son aceptadas, no todos pueden o están dispuestos a pagar por ellas, pues de acuerdo con algunos expertos inmobiliarios, los costos llegan a aumentar hasta un 14.8%¹ aproximadamente del precio total de la vivienda.

A finales del año 2018, muchos gobiernos locales, como el de San Andrés, tuvieron un cambio político histórico que dio paso a gobiernos de izquierda. Las nuevas autoridades desde su discurso de campaña, y en el primer año de gobierno, han mostrado una visión y enfoque diferentes, dando señales de posibles cambios políticos profundos que permiten plantear como *hipótesis* que este cambio de gobierno podría favorecer el desarrollo de las buenas prácticas ambientales e impulsar el desarrollo de ecotecnologías en las viviendas para minimizar los impactos negativos.

Bajo este planteamiento, el objetivo que se persigue es mostrar, a través del caso del municipio de San Andrés Cholula, Puebla,

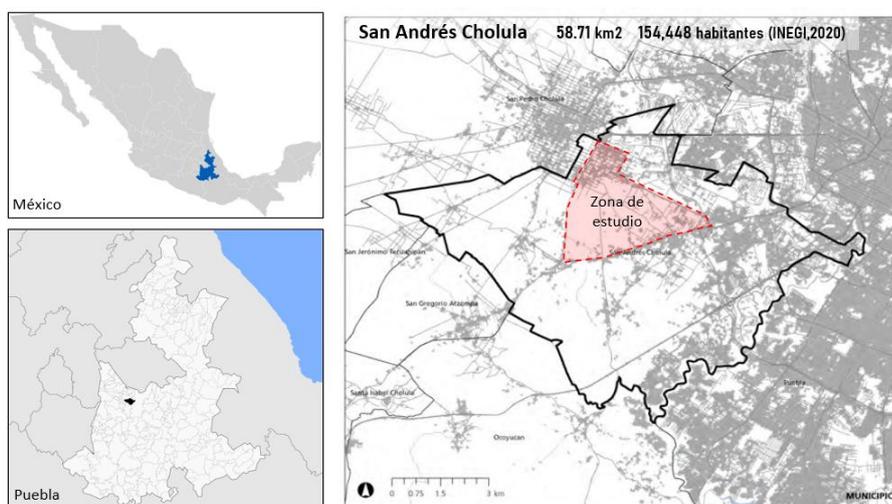
los principales obstáculos políticos, administrativos y técnicos a los que se enfrentan los promotores inmobiliarios para implementar ecotecnologías en zonas habitacionales, así como los avances en dicha materia.

MATERIALES Y MÉTODOS

San Andrés se ubica en el estado Puebla, en la región centro-occidental de México (*figura 1*). Es uno de los municipios con mayor desarrollo inmobiliario en los últimos años, lo que ha generado impactos ambientales sin precedentes. Por ejemplo, el megaproyecto comercial y residencial Angelópolis que generó la pérdida de grandes reservas naturales, incrementando la superficie urbana de la zona al 62%, y redujo al 38% la superficie agrícola (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, 2017). Este tipo de proyectos continúa empleando sistemas constructivos tradicionales, prolongando los altos impactos ambientales y la explotación desmedida de recursos naturales. Al respecto, Leff (2008) plantea que la destrucción ecológica, la degradación ambiental y el deterioro de la calidad de vida de las mayorías aparecen como un signo elocuente de los límites de la racionalidad económica sobre la cual se ha construido la civilización moderna, es decir, en la carrera desenfrenada del crecimiento económico se ha desterrado a la naturaleza de la esfera de la producción, socavando las bases de la sustentabilidad ecológica del planeta y ensanchando las desigualdades sociales.

¹ El porcentaje puede variar en función de los costos de materiales vigentes.

Figura 1. Ubicación de la zona de estudio.



Fuente: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (2020).

Se seleccionó el municipio San Andrés Cholula para el estudio debido a que uno de los investigadores forma parte de un grupo empresarial con acceso a la información de los principales fraccionamientos ecológicos desarrollados dentro del municipio y a los actores claves dentro de los sectores públicos y privados. La investigación tuvo un carácter socio-territorial, por lo que se empleó una metodología cualitativa para obtener información acerca de las características de los grupos sociales (actores) que intervienen, así como las relaciones con su entorno. Las técnicas de investigación empleadas fueron: el análisis documental, recorridos de campo y entrevistas semidirigidas. Como parte del *análisis documental* se identificaron los aspectos teóricos-conceptuales para la comprensión del enfoque de la sustentabilidad ambiental, desde lo establecido por las Naciones Unidas en los objetivos de desarrollo sostenible en 2015, hasta la crítica de la sustentabilidad e impactos inmobiliarios seña-

lados por Tudela (1991), Rojas (2003), Guevara (2005) y Leff (2008). Por otro lado, se hizo una revisión de los instrumentos normativos oficiales vigentes y sus antecedentes directos que permitieron entender la visión discursiva y la política en materia de desarrollo de las prácticas ambientales ecotecnológicas en fraccionamientos.

Se revisaron 21 instrumentos normativos, correspondientes al periodo comprendido entre 2008 y 2024; entre los que destacan el *Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024* (Gobierno de la República de México, 2019), el *Programa Nacional de Desarrollo Urbano 2014-2018* (Diario Oficial de la Federación, 2014), el *Proyecto del Programa Nacional de Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano 2019-2024* (Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano, 2019), el *Plan Estatal de Desarrollo 2019-2024* (Gobierno Constitucional del Estado de Puebla, 2019), el *Plan de Desarrollo Municipal 2014-2018* (Honorable Ayuntamiento

de San Andrés Cholula, 2014) y principalmente el *Código Reglamentario del municipio de San Andrés Cholula 2020* (Gobierno Constitucional del Estado de Puebla, 2020).

Se realizaron 25 *recorridos de campo* en la zona centro del municipio de San Andrés. En dichos recorridos se hicieron levantamientos fotográficos y algunos levantamientos de infraestructura, permitiendo identificar impactos positivos y negativos que generan los fraccionamientos con sistemas constructivos tradicionales y con ecotecnologías.

Las *entrevistas semidirigidas* se realizaron a nueve actores: seis del sector público, que eran funcionarios de primer nivel: presidente municipal de la administración 2014-2018, presidente municipal, secretario de gobernación, secretario de desarrollo urbano, secretario del agua y director administrativo de la Secretaría de Desarrollo Urbano de la administración 2018-2021. El objetivo fue comprender su discurso y visión frente al desarrollo sustentable mediante la implementación de ecotecnologías en fraccionamientos. Dentro del sector privado se realizaron cuatro entrevistas, en este caso a: directores de las dos empresas principales de desarrollo de fraccionamientos con ecotecnologías en la zona de estudio, así como a un director de operaciones y al gestor de permisos y licencias. El objetivo en este sentido fue conocer cómo ha sido el proceso de implementación de ecotecnologías e identificar los principales obstáculos a los que se enfrentaron. Dentro del sector social se entrevistaron a vecinos de fraccionamientos con ecotecnologías, para conocer su

postura frente a estos desarrollos, así como habitantes dentro de los fraccionamientos para identificar cuáles fueron los principales factores que influyeron en la compra de este tipo de viviendas.

Posterior a la revisión documental y las entrevistas, se pudo elaborar una tabla preliminar con los principales obstáculos identificados para la implementación de ecotecnologías en fraccionamientos en el municipio de San Andrés. Para profundizar el análisis, durante diciembre del 2019 y enero de 2021 se realizaron talleres y mesas de trabajo con los diferentes sectores. En total fueron tres eventos: un *taller con analistas de proyectos*, una *mesa de trabajo con constructores* y una *mesa de trabajo con directivos de empresas ecológicas y funcionarios de primer nivel*. El taller se realizó con analistas de proyectos de la Secretaría de Desarrollo Urbano, en la que se revisaron los criterios de evaluación y autorización de proyectos de vivienda, en particular de fraccionamientos. Posteriormente, se realizó una mesa de trabajo con el sector privado para conocer los procesos de gestión de fraccionamientos con ecotecnologías. Una vez recabada la información de los actores del sector público y privado, se convocó a una mesa de trabajo con participación intersectorial donde se debatieron los resultados.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El crecimiento urbano a través de zonas residenciales cerradas es un patrón que se instauró en la Zona Metropolitana Puebla-Tlaxcala desde las últimas tres décadas. En el *Plan Municipal de Desarrollo de Puebla 2018-2021*

se manifiestan como principales objetivos el desarrollo de una ciudad sostenible, a través del manejo sustentable de los recursos naturales y de acciones urgentes para el restablecimiento de los ecosistemas y ciclos hidrológicos; promoviendo la vivienda ecológica como elemento fundamental de este objetivo (Gobierno Municipal de Puebla, 2018). En contradicción, es común que en dichas zonas haya usos de suelo monofuncionales, espacios públicos mínimos y sistemas constructivos convencionales basados en prácticas carentes de una visión de ahorro energético. No obstante, se hallaron incipientes prácticas de parte de algunos promotores privados que intentan incorporar ecotecnologías para minimizar los impactos ambientales. Lamentablemente, no existen condiciones político-administrativas que incentiven dichas prácticas como se muestra en el caso de estudio.

San Andrés Cholula es un municipio con 154 448 habitantes (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, 2020) y forma parte de la zona metropolitana Puebla-Tlaxcala, que es una de las cuatro zonas metropolitanas más importantes del país² (García, 2018). Actualmente, presenta una transformación urbana acelerada, realizada sobre territorio ejidal de la década de los noventa, impulsada con la implementación del Programa de Desarrollo Regional Angelópolis. Esto provoca diversos detonadores peri-urbanos como los cambios en las dinámicas poblacionales, especulación inmobiliaria, dispersión de localidades, abandono de las actividades agrícolas y consumo desmedido del territorio, entre otros. Lo que genera cambios en los patrones de uso de suelo que van desde los núcleos urbanos compac-

tos hasta las localidades rurales dispersas a las nuevas centralidades urbanas (Heredia, 2018). Así, como lo plantea Tamayo (2020) se produjeron grandes impactos ambientales como la pérdida de suelo con alto valor ambiental y la explotación desmedida del agua.

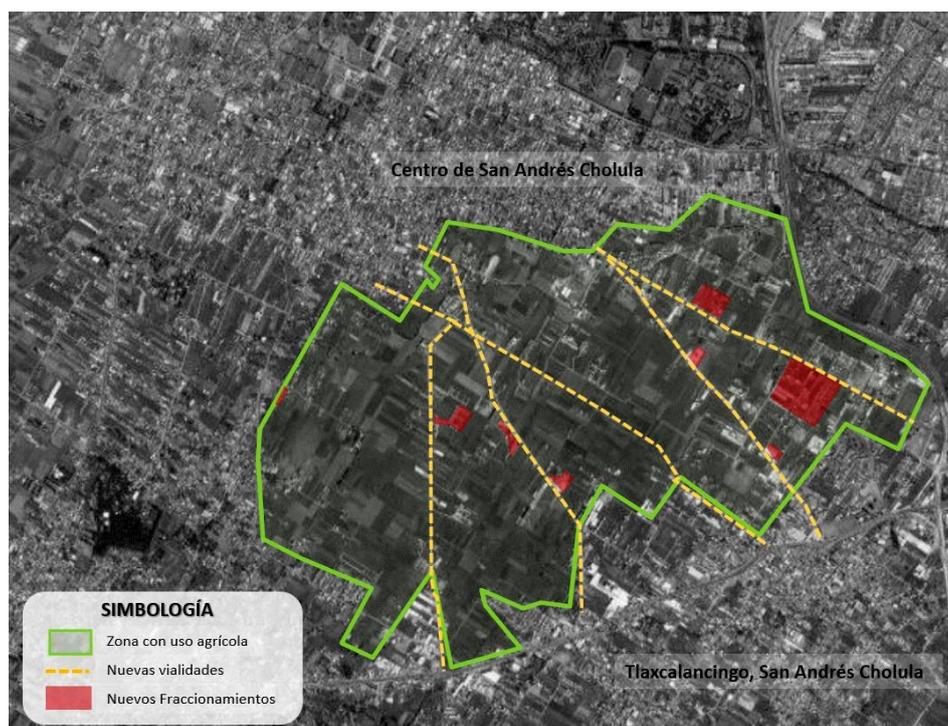
Durante la administración 2014-2018 en San Andrés se realizaron acciones que priorizaron beneficiar al sector empresarial, debido a que las inversiones del sector inmobiliario fueron altamente valoradas por la administración urbana, dado que formaron parte de las estrategias de competitividad de la ciudad. Se pudo observar que durante esa administración se establecieron condiciones especialmente permisivas para la atracción de las empresas inmobiliarias. Por ejemplo, cambios de uso de suelo y redensificaciones no compatibles con la carta urbana, como fue la construcción de residenciales con alta densidad en reservas ecológicas; procesos no regularizados como el inicio de construcciones sin licencias; falta de control y supervisión de desechos sólidos; extracciones de agua de pozos no autorizados, etc. Destaca la inversión de más de 100 millones de pesos (5 millones de USD aproximadamente) que hizo la administración para infraestructura de nuevas vialidades (Gobierno de San Andrés Cholula, 2018a) para conectar grandes extensiones de terrenos agrícolas con el centro del municipio. Lo anterior evidenció la transformación forzada de grandes zonas agrícolas con alto valor ambiental en zonas de desarrollo inmobiliario. Esto conllevó a la rápida aparición de áreas de desarrollo habitacional, cuyos sistemas constructivos convencionales han generado impactos ambientales negativos. En general, estos cambios han sido

² Es la cuarta en términos poblacionales de México, después de las zonas metropolitanas del Valle de México, Guadalajara y Monterrey.

considerados por la mayoría de los especialistas en temas urbanos como el resultado del impacto de la dinámica económica (Ascher, 2007). Tan solo en el periodo 2014-2018 se

construyeron en zonas agrícolas aproximadamente ocho fraccionamientos que incluyen más de 300 viviendas (figura 2).

Figura 1. Nuevas vialidades y fraccionamientos en San Andrés Cholula



Fuente: Elaboración propia basada en *Google maps* y datos del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (2020).

A pesar de este crecimiento ambientalmente depredador, existen algunos desarrolladores inmobiliarios que han iniciado la implementación de ecotecnologías para sustituir algunas infraestructuras urbanas y mejorar el confort de las viviendas; entre estas iniciativas se tienen los sistemas de tratamiento de aguas negras, sistemas de captación de agua pluvial e infiltración para recarga de mantos freáticos, diseño bioclimático, equipamiento hidráulico y eléctrico ecológico, entre lo más destacado. El Banco Mundial manifestó en el 2017, en la presentación del marco ambiental y social, que se obtienen

grandes beneficios sociales, económicos y políticos al impulsar estas prácticas, ya que más allá de ser una operación costosa, es una inversión para sistemas autosustentables (World Bank, 2017). Esto ayudaría a los municipios a superar los problemas de financiamiento que existen en el ámbito del saneamiento e incentivar la puesta en marcha de los objetivos de desarrollo sostenible. Sin embargo, durante estos procesos los promotores inmobiliarios encontraron diversos obstáculos que los desincentivan, por lo tanto, inhiben su implementación, como se evidencia a continuación.

Condiciones para implementar ecotecnologías en fraccionamientos

El Gobierno Municipal es la entidad a cargo del territorio municipal, este goza, dentro de los límites convenidos por la Constitución, de autonomía política, fiscal y administrativa para gestionar el mismo. Los municipios a través del *Plan Municipal de Desarrollo* y el *Programa Municipal de Desarrollo*, plantean los objetivos, propósitos y estrategias que definen las principales políticas y líneas de acción, pudiendo observar a través de estos instrumentos normativos su visión y postura.

Al realizar un análisis del *Plan de Desarrollo Municipal 2014-2018* (Honorable Ayuntamiento de San Andrés Cholula, 2014) se observó que se hace alusión al uso de ecotecnologías para algunas zonas del municipio, sin embargo, solo quedó descrito de manera ambigua, particularmente en el apartado donde se menciona el desarrollo de un *Programa de Ordenamiento Ecológico Local*, el cual según el Programa de Desarrollo Municipal 2014-2018 se realizaría entre el 2015 y 2016, pero nunca se llevó a cabo. También se identificó que dentro de este conjunto de criterios normativos se establecían compensaciones a las inversiones en proyectos que cuentan con ecotecnologías, lo cual sería un impulso para promover la sustentabilidad ambiental en las viviendas. No obstante, dentro de las mismas normativas se establecen criterios contradictorios. Por un lado, establecen que en caso de que no exista infraestructura básica para los servicios públi-

cos, los desarrolladores de proyectos serán los responsables de su construcción, lo cual representa un incremento considerable en el costo de inversión, mayor a la compensación que se podría adquirir por la implementación de ecotecnologías; condiciones bajo las cuales la viabilidad económica del proyecto es limitada. En consecuencia, los desarrolladores optan por no usar ecotecnologías debido a la alta inversión de infraestructura (Gobierno de San Andrés Cholula, 2018a).

También se observó que el *Programa Municipal de Desarrollo Urbano Sustentable de San Andrés 2014-2018* (Gobierno de San Andrés Cholula, 2018b) fue elaborado por instituciones especializadas y expertos de renombre internacional como el Centro Eure³, el cual realizó un diagnóstico profundo sobre las problemáticas urbanas locales. En dicho estudio se manifestaban la necesidad de cambios en los procesos constructivos tradicionales. Sin embargo, las acciones y estrategias finales no tienen en cuenta este análisis. El *Programa Municipal de Desarrollo Urbano Sustentable de San Andrés* concluye en acciones que responden a intereses exclusivamente económicos y que beneficia solo a ciertos grupos político-empresariales, por ejemplo, a través del desarrollo de vialidades e infraestructura que dan accesibilidad a propiedades particulares, donde la sustentabilidad ambiental no tiene cabida, quedando nuevamente, las acciones proambientales como parte del discurso político, y mostrándose un gobierno coludido y

³ Grupo de expertos especializado en desarrollo urbano y regional, desarrollo sustentable, política pública, legislación urbana, sistemas de información geográfica y asesoría especializada a tomadores de decisiones sobre temas estratégicos para el diseño e implementación de políticas públicas, entre otros temas.

permisivo. Lo anterior da cuenta de un Gobierno Municipal (2014-2018) carente de un verdadero interés y voluntad para regular y controlar el deterioro ambiental generado por el rápido crecimiento de la mancha urbana. Por el contrario, se identificaron estrategias de desarrollo urbano basadas en prácticas clientelares que atienden exclusivamente a necesidades e intereses económicos y políticos de ciertos grupos empresariales, como cambios de uso de suelo y redensificaciones sin justificación técnica legal que fomentan un crecimiento depredador con altos y costosos impactos ambientales.

Esta falta de interés por parte de la administración local es uno de los principales obstáculos que enfrentan los desarrolladores que buscan implementar ecotecnologías en los fraccionamientos. Sin embargo, también enfrentan otros obstáculos durante el proceso de gestión interno, como son: trámites excesivamente largos con alto burocratismo, desconocimiento de procesos constructivos ecológicos, alto nivel de incertidumbre en la planeación, falta de personal especializado, consultorías con altos costos, procesos de financiamiento con enfoque exclusivamente económico generando desventaja competitiva de vivienda ecológica sobre vivienda tradicional. Por otra parte, dentro del *sector social*, también se observan obstáculos, ya que los compradores aún se encuentran centrados principalmente en el costo de la vivienda y la ubicación, pasando el factor ecológico a un segundo plano. Los fraccionamientos con ecotecnologías, y en particular las viviendas, requieren de una inversión inicial adicional a la vivienda tradicional, esta inversión se ve reflejada a mediano plazo en ahorros energéticos y económicos, sin embar-

go, es muy bajo el porcentaje de personas con la capacidad y disposición para realizar esta inversión. Así, lograr que la vivienda ecológica sea competitiva económicamente en relación con la vivienda tradicional representa un gran reto administrativo y financiero para los desarrolladores de fraccionamientos.

Evaluación de obstáculos para implementar ecotecnologías

Mediante las entrevistas realizadas se identificaron los principales obstáculos para implementar ecotecnologías, los cuales se sistematizaron en la *tabla 1*, la cual se estructura en tres bloques, y estos a su vez en cuatro columnas. La primera columna indica el origen del sector del obstáculo (público, privado y social) en la segunda se describe brevemente el *obstáculo o limitante*, en la tercera se indica la *tipología* (administrativa, técnica, política y social) del obstáculo, y en la cuarta columna se realiza una valoración indicando el *grado de obstaculización*.

Como parte del análisis de esta información se plantea la tipología y cada obstáculo y se realiza una valoración por grado de obstaculización. De acuerdo con su tipología, los obstáculos se clasifican en:

Administrativo: aquellos provenientes de actividades y procedimientos de planificación, organización, dirección y control de recursos, orientados al cumplimiento de objetivos específicos. Se refiere a las actividades necesarias previas a la construcción de un proyecto, como la planeación, y aquellas paralelas al proceso de construcción, como el control administrativo de la obra.

Técnicos: los provenientes de actividades y procedimientos de ejecución, particularmente las actividades del proceso de construcción de vivienda.

Políticos: aquellos provenientes del proceso de toma de decisiones del sector público para dar resolución a conflictos de intereses, particularmente al ejercicio de poder que el gobierno realiza sobre la regulación de la vivienda.

Sociales: los provenientes de actividades y procesos del sector social, particularmente los factores decisivos para la adquisición de una vivienda.

Los siguientes criterios de evaluación se basaron en el grado de obstaculización y se establecieron de acuerdo con la capacidad y dependencia que cada sector muestra para solventar el obstáculo, es decir, la capacidad

será condicionada por el grado de dependencia (alta, media o baja) que tenga el obstáculo con los diferentes sectores, así como la relación que se dé entre estos. Se consideró que esta dependencia se ve condicionada por los recursos de cada sector, como los económicos, financieros, tecnológicos, humanos, de infraestructura o equipamiento, vinculación e instrumentos de gestión.

Obstaculización baja: cuando el sector tiene la capacidad de solventar el obstáculo en un 90% y depende únicamente del mismo.

Obstaculización media: cuando la capacidad de solventar el obstáculo es igual o mayor a un 50% y depende de dos o más sectores.

Obstaculización alta: cuando la capacidad de resolver el obstáculo es menor a un 20% y depende completamente de un sector externo.

Tabla 1. Evaluación por grado de obstaculización por sectores.

Origen	Descripción de obstáculo	Tipología	Obstaculización		
			Baja	Media	Alta
Sector público	Personal administrativo ineficiente	Administrativo		X	
	Procesos lentos en la evaluación y autorización de proyectos	Administrativo		X	
	Vacíos en los marcos jurídicos	Político			X
	Poco interés en construcción de vivienda ecológica por parte de autoridades locales	Político			X
	Desarticulación normativa en los diferentes niveles gubernamentales	Político			X
	Prácticas clientelares	Administrativo			X
	Trámites extensos	Administrativo			X
	Personal técnico no capacitado	Técnico		X	
	Infraestructura deficiente para implementación de tecnologías alternativas	Técnico			X
	No hay promoción para uso de ecotecnologías	Social		X	

	Personal no capacitado	Administrativo	X	
	Desconocimiento de procesos	Administrativo	X	
	Alto nivel de incertidumbre en la planeación	Administrativo		X
	Falta de control de obra por desconocimiento de los procesos constructivos ecológicos	Administrativo		X
	Discrecionalidad para agilizar trámites	Político		X
	Escasez de personal técnico especializado	Técnico		X
Sector privado	Control de calidad deficiente	Técnico	X	
	Metodología de valuación de vivienda con enfoque económico	Técnico		X
	Altos costos en desarrollo de ecotecnologías	Técnico		X
	Desventaja competitiva de vivienda ecológica sobre vivienda tradicional ante las valoradoras financieras	Social		X
	Desconocimiento de impactos ambientales	Social		X
	Altos costos de inversiones iniciales	Social		X
Sector social	Adquisición de vivienda basada en financiamientos sin reconocimiento a las ecotecnologías	Administrativo		X
	Desconocimiento de impactos ambientales	Técnico		X

Fuente: Elaboración propia.

En la *tabla 1* se observa que dentro de los obstáculos del sector público, más el 60% tienen un grado de obstaculización *alta* y se refieren a vacíos en los marcos jurídicos, falta de interés en construcción de viviendas ecológicas por parte de las autoridades locales, desarticulación en los diferentes niveles gubernamentales, prácticas clientelares, trámites extensos y falta de infraestructura; los cuales en su mayoría son de tipo político-administrativo. Analizando la tipología de los obstáculos con mayor grado de obstaculización en el sector público, se encuentra que el 50% son de tipo político y un 33% de tipo administrativo; indicando una deficiencia en la gestión administrativa, y a su

vez revelando una gran necesidad de instrumentos normativos que disminuyan esta problemática.

De forma general, se identifica como principal obstáculo en el sector público y privado una visión parcializada del proceso general de desarrollo de viviendas sustentables, donde, aunque existen iniciativas gubernamentales-empresariales, se carece de una estrategia de gestión integral para el desarrollo de vivienda sustentable en México.

Para identificar el sector que concentra más obstaculización se realizó una segunda tabla que resume y agrupa el número de obstáculos

por grado de obstaculización y se asignan porcentajes en cada sector, lo que permite identificar cuáles son aquellos sectores que concentran mayor obstaculización.

En la *tabla 2* se observa que en el grado de *obstaculización baja* solo se encuentran dos obstáculos y corresponden al sector privado. En el grado de *obstaculización medio* aparecen 12 obstáculos, de los cuales la mayoría son del sector privado (29%); y en el grado de *obsta-*

culización alta se identificaron 10 obstáculos, de los cuales el 22% corresponden al sector público. De esto se desprende que la mayor obstaculización proviene, principalmente, del sector público y en segundo lugar del sector privado; lo que muestra la necesidad de realizar un análisis más detallado de los obstáculos contenidos en estos dos sectores para mejorar los procesos que faciliten la implementación de ecotecnologías.

Tabla 2. Grados de obstaculización en relación con los sectores.

Grado de obstaculización	No. de obstáculos	%	Porcentaje de acuerdo con el sector de origen		
			Sector Público	Sector Privado	Sector Social
Baja	2	8	0	8	0
Medio	12	50	17	29	4
Alta	10	42	25	13	4

Fuente: Elaboración propia.

El análisis de la *tabla 2* muestra que el principal obstáculo para la realización de acciones favorables a la sustentabilidad ambiental (implementación de ecotecnologías en viviendas) por el Gobierno de San Andrés entre 2014-2018 es su *visión parcializada frente al desarrollo de la sustentabilidad ambiental*. Donde existe deficiencia en la gestión administrativa unido a la insuficiencia normativas a escala local que impulsen prácticas ambientales en la vivienda. Al respecto, Garza (2006) plantea que es importante elevar la eficiencia en la infraestructura de servicios, gestión administrativa y reglamentaria, para proporcionar el andamiaje de factores necesarios para lograr un desarrollo urbano sustentable. Es decir, es fundamental que el gobierno federal promueva la implantación de mecanismos de gestión

urbana y oriente la expedición de normas que regulen sus actividades. Además, en esta investigación se considera que la necesidad de promover mecanismos de gestión debe darse en los tres ámbitos gubernamentales y de forma alineada.

Desafortunadamente, la normatividad de las metrópolis mexicanas manifiesta un conjunto de problemas, incongruencias y contradicciones que presentan la multiplicidad de leyes, reglamentos, planes, y otros instrumentos jurídicos que las regulan. De acuerdo con Garza (2006), esta situación se deriva, en gran medida, de las siguientes circunstancias: la legislación y los planes nacionales urbanos no incorporan adecuadamente las características y determinantes de la expansión de las ciuda-

des; existe una gran disfuncionalidad entre la normatividad y los planes, con las acciones específicas de los sectores popular e inmobiliario; y principalmente que los gobiernos municipales, en términos generales, no han tenido la capacidad técnica, financiera y política para enfrentar de forma razonable las funciones urbanas.

Por otra parte, en el sector privado se identificó que el alto desconocimiento y la poca experiencia en los proyectos de desarrollo habitacional sustentable son grandes obstáculos, no obstante, el factor económico es la principal limitante. En este sentido, Villafranca (2016) plantea que a pesar de que en México la promoción de los programas de sostenibilidad mediante financiamientos económicos ha tenido gran auge; es cierto que estos, como otros tantos programas federales, no tienen integridad ni objetivos específicos, lo que implica que no haya una estrategia funcional en su desarrollo y, por ende, tampoco hay resultados. En su mayoría, estos programas de sostenibilidad son únicamente apoyos económicos (financiamientos) que se ofrecen a las desarrolladoras si sus proyectos cumplen con «algunos requisitos», siendo, en su mayoría, requisitos de equipamientos como eléctrico e hidrosanitario. Estos apoyos económicos, conocidos como hipotecas verdes (Instituto del Fondo Nacional de la Vivienda para los Trabajadores, 2022), que se dan a cambio de pequeñas condicionantes, ocasionan que bajo la etiqueta de viviendas sustentables se disfracen proyectos que continúan con sistemas constructivos y de funcionamiento tradicionales. Dichos proyectos se limitan únicamente a promover el cambio de focos incandescentes por los llamados focos ahorradores, o la sus-

titución de calentadores tradicionales por los solares, con lo cual, sin duda, se generan ciertos ahorros y beneficios ambientales, pero la integralidad de sustentabilidad ambiental es inexistente.

Por su parte, la Sociedad Hipotecaria Federal (2014) realizó una serie de estudios con la finalidad de identificar los principales retos que enfrentaban los desarrolladores de vivienda al intentar construir casas sustentables e implementar ecotecnologías. Así, a partir de 2013 comenzó a operar programas de apoyo al desarrollo de vivienda sustentable. Sin embargo, los programas no permearon a todos los niveles gubernamentales debido a la falta de incentivos para impulsar infraestructura y equipamiento para la vivienda integrando elementos de sustentabilidad (ecotecnologías). En el 2020 el Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal plantea que esta tarea es responsabilidad de los municipios; no obstante, los recursos municipales son insuficientes. Esta situación da como resultado que los municipios deleguen la urbanización a los desarrolladores, quienes se ven en la necesidad de realizar esfuerzos adicionales de capital con la finalidad de asegurar condiciones mínimas de operación de sus proyectos, lo cual se refleja en el precio de la vivienda. De esta manera, la alta inversión de capital en infraestructura y experimentación de procesos desconocidos resulta una barrera para la construcción de viviendas sustentables.

Por consiguiente, se puede afirmar que en el municipio San Andrés Cholula las leyes y normativas han sido inadecuados para enfrentar la complejidad e interacción entre los problemas sociales, ecológicos y económicos; pues

los sistemas gubernamentales y de legislación en la administración 2014-2018 continuaban orientando el razonamiento de manera fragmentada y parcializada. De manera que las soluciones al deterioro ambiental se abordaron desde una sola perspectiva, segmentada y sin entender sus interrelaciones. Mostrando una urgente necesidad de implementar mecanismos y estrategias que analicen y actúen de manera más congruente con el ambiente desde una visión integral.

Hacia un cambio de paradigma: el mejoramiento ambiental en zonas residenciales

A finales del año 2018 muchos gobiernos locales, como el del municipio San Andrés Cholula, tuvieron un cambio político histórico que dio paso a gobiernos de izquierda. En San Andrés, las nuevas autoridades desde su discurso de campaña y en el primer año de gobierno mostraron una visión y enfoque diferente, dando señales de posibles cambios políticos profundos.

Como se planteó anteriormente, los instrumentos normativos que desarrollan los municipios, como el *Código Reglamentario de Desarrollo Urbano y Medio Ambiente* (Gobierno Constitucional del Estado de Puebla, 2020), son elementos estratégicos fundamentales para impulsar la sustentabilidad ambiental, puesto que se estipulan las bases para resolver los retos sociales, económicos, culturales y ecológicos; manifiestan la visión gubernamental y prioriza las necesidades que se deben atender.

El *Código Reglamentario de Desarrollo Urbano y Medio Ambiente* es un elemento central y parteaguas para la sustentabilidad ambiental en zonas residenciales, pues es el primer ins-

trumento jurídico administrativo que existe en el municipio en materia ambiental. Anteriormente el ayuntamiento no contaba con un reglamento en la materia, razón por la cual no se tenía certeza jurídica respecto a los temas ambientales. A pesar de que desde septiembre de 2015 se aprobó y firmó la *Agenda 2030*, donde México se comprometió en avanzar hacia un desarrollo sostenible, estos compromisos, de acuerdo con las revisiones realizadas como parte de la presente investigación, quedaron plasmados a nivel federal y estatal en marcos jurídicos de regulación ambiental como son las leyes Generales del *Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente* y la *Ley de Cambio Climático del Estado de Puebla*. Sin embargo, estas parecían ser ignoradas en la elaboración de los planes y programas municipales de desarrollo urbano, no permeando en acciones locales. El *Código Reglamentario de Desarrollo Urbano y Medio Ambiente* actual del municipio no solo reconoce los compromisos planteados en la *Agenda 2030*, sino que establece como principal reto atender los problemas ambientales, a través de una política ambiental municipal. Por ello, se consideró importante realizar un análisis del COREMUN del Municipio San Andrés Cholula (Gobierno Constitucional del Estado de Puebla, 2020) para identificar si el nuevo gobierno favoreció el desarrollo de las buenas prácticas ambientales e impulsó el desarrollo de ecotecnologías en las viviendas para minimizar los impactos ambientales.

El *Código Reglamentario del Municipio de San Andrés* (Gobierno Constitucional del Estado de Puebla, 2020), se organiza en una primera parte introductoria en la que se exponen los motivos; seguido por seis apartados que abordan temáticas de protección al ambiente,

desarrollo sustentable de fraccionamientos o condominios, y procesos de inspección y vigilancia. Desde su estructura se observa un alto enfoque a la protección del ambiente y el desarrollo sustentable; manifestándolo desde la exposición de motivos donde enfatiza como principal reto: atender los problemas ambientales. Plantea que es inminente la realización de acciones contra el cambio climático y reconoce los compromisos planteados en la *Agenda 2030*; donde se establece que es prioritario restaurar el ciclo hidrológico natural y proporcionar acceso universal a zonas verdes y espacios públicos seguros, inclusivos y accesibles y apoyar los vínculos económicos, sociales y ecológicos positivos entre las zonas urbanas, periurbanas y rurales mediante un desarrollo urbano equilibrado. Para lo cual es necesario fortalecer la planificación del desarrollo municipal mediante una política ambiental municipal (Gobierno Constitucional del Estado de Puebla, 2020). Dentro de las principales acciones que propone el Código se encuentra la elaboración de un *Programa de Ordenamiento Ecológico del Territorio Municipal* que establezca los criterios de regulación ecológica y permita valorar el impacto que tiene el sistema urbano sobre el ambiente, basado en el consenso y participación intersectorial.

Como en otros códigos reglamentarios, se encuentran planteamientos y estrategias ya mencionados en códigos anteriores, no obstante, hay algunos de ellos que vale la pena destacar por no existir antecedentes y constituir una plataforma para impulsar la sustentabilidad ambiental en el municipio. Entre estos planteamientos a destacar se encuentra la valoración del impacto real del sistema urbano sobre el ambiente, a través de estudios

técnicos especializados, incorporando esquemas de participación intersectoriales que den como resultado lineamientos, procedimientos y normas técnicas para regular el desarrollo de la vivienda.

Estas nuevas estrategias muestran modificaciones importantes como el cambio de visión en la gestión local del territorio. La administración 2018-2021 presentó a través del *Código Reglamentario de Desarrollo Urbano y Medio Ambiente* una visión enfocada al impulso de prácticas ambientales para la gestión de los bienes colectivos (recursos naturales) incorporando a los diferentes actores mediante un enfoque intra y transdisciplinario. Anunció además, cambios importantes en la gestión ambiental territorial desde el nivel municipal. Sin embargo, como en toda gestión de cambio, se presentó una fuerte resistencia. En la implementación de este nuevo instrumento normativo permearon prácticas añejas difíciles de subsanar como el burocratismo, autoritarismo y corrupción. Al ser nuevos procesos, el exceso de normas, trámites y papeleo están dificultando o complicando las relaciones del ciudadano con la administración, cayendo en soluciones basadas en la influencia de los órganos administrativos y de los empleados públicos de la gestión. En este sentido, Marshak (2020) plantea que los líderes políticos suelen emprender los procesos de cambio organizacional centrándose en aspectos lógicos y racionales, sin tener en consideración lo que el autor llama los «procesos ocultos» del cambio, dichos procesos son fruto de la distancia entre los nuevos objetivos de la organización y prácticas anteriores, que en un inicio son difíciles de identificar por la falta de transparencia.

Ante esto, funcionarios de primer nivel de la administración 2018-2021, manifestaron que es un reto difícil el ver cambios en tan solo cuatro años, sin embargo, focalizaron esfuerzos para poder sentar bases legales sólidas que impulsen la sustentabilidad ambiental y la cohesión social para generar cambios profundos en el municipio. Por su parte Arenilla (2019) plantea que uno de los principales retos que enfrenta la administración pública es el ajuste de los objetivos a los periodos establecidos; dado que el plazo que tienen los responsables políticos de la organización pública para obtener resultados en su gestión en la mayoría de las ocasiones es insuficiente. Lo anterior hace necesario un análisis diagnóstico inicial de las condiciones para reconocer estrategias anteriores que se alineen a los objetivos de la nueva administración para darles continuidad.

CONCLUSIONES

Se encontró que, de las tres escalas de administración pública, los municipios tienen una responsabilidad hacia el ambiente directa, inmediata e ineludible, recayendo en ellos principalmente la responsabilidad de gestionar el territorio bajo una visión integral que priorice un equilibrio socio-ecológico.

No obstante, existen vacíos normativos a escala local que impiden impulsar la política ambiental municipal. El resultado de estos vacíos dificulta los procesos para avanzar hacia la sustentabilidad ambiental en aspectos básicos como la implementación de ecotecnologías en zonas habitacionales.

Existen debilidades de carácter administrativo, técnico, económico y político que obstaculizan y desalientan a quienes intentan desarrollar prácticas ambientales como algunos promoto-

res inmobiliarios. El principal obstáculo encontrado es la visión parcializada de la sustentabilidad ambiental de las autoridades locales.

En el sector privado hay un alto desconocimiento y falta de experiencia en los proyectos de desarrollo habitacional sustentable, pero el factor económico es la principal limitante debido a que los costos se incrementan con las ecotecnologías y que los potenciales compradores, aunque buscan viviendas y entornos amigables con el ambiente, difícilmente están dispuestos a pagar más por ello.

Por otro lado, el cambio de gobierno del 2018 en el municipio San Andrés Cholula mostró una visión diferente, orientándose hacia una gestión ambiental de los bienes colectivos (recursos naturales), incorporando a los diferentes actores mediante un enfoque más social y transdisciplinario. Sin embargo, se presentó una fuerte resistencia. Así, la implementación del código reglamentario municipal con enfoque ambiental se ha visto enfrentada por prácticas añejas difíciles de subsanar como el burocratismo, el autoritarismo y la corrupción. No obstante, este código permitió sentar bases para el desarrollo de políticas en pro de la sustentabilidad ambiental.

Mientras los esfuerzos no se enfoquen en el organigrama y en el perfil administrativo para la gestión eficiente, así como que se establezca un marco normativo acorde al desarrollo económico, social y urbanístico-, será poco probable que se alcance la competitividad y eficiencia que demanda la inserción de México en el cumplimiento de objetivos internacionales en temas de sustentabilidad ambiental.

Finalmente, es importante plantear que se requiere de un esfuerzo sistémico, que abar-

que la conducción de la política económica, la gestión de los recursos naturales, la innovación tecnológica, la participación de diferentes sectores de la población, la educación, la consolidación de instituciones, la inversión y la investigación, para avanzar hacia prácticas

duraderas y eficientes de sustentabilidad ambiental. Esto podrá servir no solo a San Andrés sino al resto de los municipios de la zona metropolitana Puebla-Tlaxcala, en los cuales se está manifestando este tipo de crecimiento depredador.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahumada, B., Pelayo, M. C. y Arano, A. (2012). Sustentabilidad ambiental, del concepto a la práctica: Una oportunidad para la implementación de la evaluación ambiental estratégica en México. *Gestión y Política Pública*, 21(2), 291-332. <https://bit.ly/2m5CcPR>
- Arenilla, M. (2019). Una nueva función pública que fortalezca la confianza en las instituciones públicas. *Revista Vasca de Gestión de Personas y Organizaciones Públicas*, (16),36-53. <https://bit.ly/3np7VYL>
- Ascher, F. (2007). *Les nouveaux principes de l'urbanisme*. Éditions de l'Aube.
- Ayuntamiento del Municipio de Puebla. (2018). *Plan Municipal de Desarrollo de Puebla 2018-2021* [PDF]. Gobierno del Estado de Puebla. <https://bit.ly/3MIwbAM>
- Coelho, F. (27 de mayo de 2019). *Significado de Sustentabilidad*. Significados. <https://bit.ly/3czYZ0z>
- Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos [Const.]. Artículo 115 inciso V del 18 de diciembre de 2020. <https://bit.ly/3NvBaUk>
- Diario Oficial de la Federación. (2014). *Programa Nacional de Desarrollo Urbano 2014-2018. Cuarta Sección*. (pp. 41-111). <https://bit.ly/3IKteOy>
- García, A. (2018). Zonas metropolitanas de Puebla-Tlaxcala: crecimiento poblacional y actividad manufacturera. En J. G. Zamora (Coord.), *Agenda Pública para el Desarrollo Regional, la Metropolitización y la Sostenibilidad* (Vol. 3). Instituto de Investigaciones Económicas, Universidad Nacional Autónoma de México. <https://bit.ly/3npy61o>
- Garza, G. (2006). *Características socioeconómicas y gestión de las metrópolis en México*. En A. López (Ed.), *Importancia social, económica y territorial de los nuevos fenómenos metropolitanos*, pp.23-56. Centro de Estudios Sociales y de Opinión Pública. <https://bit.ly/2nMTemG>
- Gobierno Constitucional del Estado de Puebla. (2019). *Plan Estatal de Desarrollo 2019-2024*. Periódico Oficial del Estado de Puebla, Tercera Sección, 2-198. <https://bit.ly/3RFDR96>

- Gobierno Constitucional del Estado de Puebla. (2020). *Código Reglamentario de Desarrollo Urbano y Medio Ambiente para el Municipio de San Andrés Cholula, Puebla*. Periódico Oficial del Estado de Puebla, Primera Sección. (pp. 2-198). <https://bit.ly/3obWWCg>
- Gobierno de la República de México. (2019). *Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024*. Secretaría de Gobernación. <https://bit.ly/3MEGEwW>
- Gobierno de San Andrés Cholula. (2018a). *Cuarto informe de Gobierno*. Municipio de San Andrés Cholula 2014-2018.
- Gobierno de San Andrés Cholula. (2018b). *Programa Municipal de Desarrollo Urbano sustentable de San Andrés Cholula* [PDF]. <https://bit.ly/3z9ZGGT>
- Gobierno Municipal de Puebla. (2018). *Plan Municipal de Desarrollo de Puebla 2018-2021*. <https://bit.ly/3Pv6NyP>
- Guevara, A. (2005). Política ambiental en México: génesis, desarrollo y perspectivas. *ICE: Revista de economía*, 821, 163-175. <https://bit.ly/3z9NMg2>
- Heredia, I. A. (2018). *El suelo periurbano en San Bernardino Tlaxcalancingo*. [Tesis de Maestría, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla]. Repositorio Institucional <https://bit.ly/3cklaaP>
- Honorable Ayuntamiento de San Andrés Cholula. (2014). *Plan de Desarrollo Municipal 2014-2018*. <https://bit.ly/3IJOMfL>
- Instituto del Fondo Nacional de la Vivienda para los Trabajadores. (12 de mayo de 2022). *Hipoteca Verde*. Recuperado el 12 de mayo 2022 de <https://bit.ly/3NtXnSH>
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. (2017). *Continuo Nacional de Uso del Suelo y Vegetación 1:250 000 Serie VI, 2014. Marco Geoestadístico Nacional*.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. (2020). *Censos y Conteos de Población y Vivienda 2020*. <https://bit.ly/2CkGYO2>
- Leff, E. (2008). *Discursos sustentables*. Editorial Siglo XXI.
- Marshak, R. J. (2020). *Dialogic Process Consulting: Generative Meaning-Making in Action*. BC: BMI Publishing.
- Nadal, A. (2007). Medio ambiente y desarrollo sustentable en México. En J. L. Calva (Coord.), *Sustentabilidad y Desarrollo Ambiental. Agenda para el desarrollo* (Vol. 14, pp. 17-32). Porrúa.

- Rojas, C. (2003). *El desarrollo sustentable: nuevo paradigma para la administración pública*. Instituto Nacional de Administración Pública, A. C. <https://bit.ly/2LNeWxv>
- Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano. (2019). Proyecto del Programa Nacional de Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano 2019-2024. <https://bit.ly/3PxqohS>
- Sociedad Hipotecaria Federal. (2014). *Programas de Vivienda Sustentable*. <https://bit.ly/3PeceCx>
- Tamayo, N. L. (2020). *Impactos ambientales por crecimiento acelerado de mancha urbana en San Andrés Cholula*. Foro de temas selectos. Doctorado en Procesos Territoriales. Facultad de Arquitectura de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.
- Tudela, F. (1991). Usos del suelo, vivienda y medio ambiente. En M. Schteingart (Ed.), *Espacio y vivienda en la ciudad de México* (pp. 203–222). El Colegio de México. <https://bit.ly/3zbcgW4>
- Villafranca, F. (2016). Foro de consulta para elaborar los Programas Nacionales de Desarrollo Urbano y de Vivienda en Michoacán. Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano. <https://bit.ly/3I3PQJe>
- World Bank. (2017). *Políticas ambientales y sociales para proyectos*. <https://bit.ly/2HaVXgI>



Niños y plantas: servicios ecosistémicos de la vegetación percibidos en escuelas públicas urbanas en una ciudad andina

Children and plants: ecosystem services of vegetation perceived in urban public schools of an Andean city

Crianças e plantas: serviços ecossistêmicos da vegetação percebidos em escolas públicas urbanas de uma cidade andina

María Elisa Durán-López / Universidad de Cuenca, Ecuador / elisa.duranl@ucuenca.edu.ec

Juana María Cabrera-Quito / Universidad de Cuenca, Ecuador / juana.cabrera@ucuenca.edu.ec

Mónica Alexandra Narváez-Vera / Universidad de Cuenca, Ecuador / monica.narvaez@ucuenca.edu.ec

Recibido: 14/1/2022

Aceptado: 4/7/2022

Publicado: 21/8/2022

RESUMEN

El objetivo del estudio fue analizar la importancia que los niños (8-12 años) asignan a la vegetación urbana como proveedora de tres categorías de servicios ecosistémicos, a través de su rol ecológico, alimenticio y en la salud humana. La investigación se realizó en ocho escuelas públicas urbanas de la ciudad de Cuenca, Ecuador. Las mismas cumplieron con las siguientes características: ser urbanas, presencia de áreas verdes en diferentes proporciones y disposición de autoridades y docentes para participar. Se aplicó una encuesta descriptiva y los resultados mostraron que la presencia o ausencia de áreas verdes escolares no tuvo una influencia significativa en las percepciones ambientales. Sin embargo, existen otros factores relevantes como el contacto directo con la *naturaleza* y el aprendizaje sobre plantas generado en un contexto cotidiano no ligado, necesariamente, a la escuela. Adicionalmente, el servicio ecosistémico más reconocido fue el de regulación, entendido como la importancia de la vegetación para mantener la calidad del aire y el ciclo hidrológico. El servicio ecosistémico cultural se relacionó con la valoración estética de las plantas y el servicio de abastecimiento fue asociado con alimento y medicina. Además, los niños percibieron con mayor facilidad el servicio ecosistémico de regulación comparado con las niñas (prueba chi cuadrado $p < 0.05$).

Palabras clave: escolares, percepción ambiental, servicios ecosistémicos de abastecimiento, servicio ecosistémico cultural, servicio ecosistémico de regulación

ABSTRACT

The objective of the study was to analyze the importance that children (8-12 years old) assign to urban vegetation as a provider of three categories of ecosystem services, through its ecological, nutritional and human health role. The participating schools had the following characteristics: being urban, presence of green areas in different proportions, and willingness of authorities and teachers to participate in the study. A descriptive survey with six multiple-choice questions was applied. The results showed that the presence or absence of school green areas did not have a significant influence on environmental perceptions; however, there are other relevant factors such as direct contact with nature and learning about plants generated in a daily context not necessarily linked to the school. Additionally, the most widely recognized were the regulating services, understood as the importance of vegetation in regulating air quality and the hydrological cycle. The cultural services were related to the aesthetic value of plants and the provisioning services were associated with food and medicine. In addition, and contrary to what is theoretically established, boys perceived the ecosystem regulation services more easily compared to girls (chi-square test $p < 0.05$).

Keywords: cultural ecosystem service, ecosystem supply services, environmental perception, regulatory ecosystem service, schoolchildren

RESUMO

O objetivo do estudo foi analisar a importância que as crianças (8-12 anos de idade) atribuem à vegetação urbana como fornecedora de três categorias de serviços ecossistêmicos, através do seu papel ecológico, nutricional e de saúde humana. A investigação foi feita em oito escolas municipais da cidade de Cuenca, Equador, que reuniam as seguintes características: ser urbano, presença de zonas verdes em diferentes proporções e vontade de participação das autoridades e dos professores. Foi aplicado um levantamento descrito e os resultados mostraram que a presença ou ausência de áreas verdes escolares não teve uma influência significativa nas percepções ambientais. Contudo, existem outros fatores relevantes, tais como o contacto direto com a natureza e a aprendizagem sobre as plantas num contexto quotidiano não necessariamente ligado à escola. Além disso, o serviço ecossistémico mais reconhecido foi o da regulação, entendida como a importância da vegetação na regulação da qualidade do ar e do ciclo hidrológico. O serviço cultural do ecossistema foi relacionado com o valor estético das plantas e o serviço de fornecimento estava associado à alimentação e medicina. Adicionalmente, o serviço regulador do ecossistema foi mais facilmente percebido pelos meninos do que pelas meninas (teste do qui-quadrado $p < 0.05$).

Palavras chave: escolas, percepções ambientais, serviços de abastecimento, serviços culturais, serviços de regulamentação

INTRODUCCIÓN

Los seres humanos convivimos e interactuamos con otras especies en un entorno físico, biológico, social, económico y cultural (Korkmaz *et al.*, 2017). Asimismo, el normal funcionamiento de los ecosistemas suministra múltiples beneficios (Millennium Ecosystem Assessment, 2005). Sin embargo, se les asigna valor a los elementos naturales de acuerdo con su utilidad, belleza, atractivo visual o rareza y con ese juicio se determina qué especies y servicios ecosistémicos deben priorizarse para su conservación. Precisamente por este sesgo, a nivel general, existe falta de interés y desconocimiento sobre los diferentes servicios que brinda la naturaleza.

Además, en el mundo artificializado en que vivimos, las personas cada vez están más aisladas de la naturaleza. Esta separación origina el llamado síndrome de déficit de la naturaleza, que provoca problemas ambientales (Fletcher, 2017; Louv, 2018). En América Latina, a nivel urbano, existe un crecimiento desorganizado que se ve reflejado en los cambios de uso de suelo que acarrea la pérdida de la biodiversidad y sus servicios ecosistémicos (Parra-Saldívar *et al.*, 2020). Las escuelas no son la excepción, pues reducen sus espacios verdes para cubrir otras necesidades que reconocen como prioritarias. Esta desconexión con los elementos naturales afecta la salud física, mental y emocional de los niños e impide que se generen senti-

mientos de respeto por el ambiente (Tucker y Izadpanahi, 2017).

No obstante, la escuela es un lugar adecuado para que los niños mantengan un contacto directo con la vegetación. De igual forma, los maestros juegan un rol muy importante en la formación de ciudadanos con cultura ambiental (Karatekin, 2019), a pesar de que los programas de educación ambiental formal en los países en vías de desarrollo no son los más adecuados (Korkmaz *et al.*, 2017). Para mejorar esta situación, el Ministerio de Educación de Ecuador, con el aval de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO, por sus siglas en inglés), desde 2017 adopta la metodología TiNi (Tierra de Niñas, Niños y Jóvenes) que busca vincular a niños y adolescentes con la naturaleza, a través de un mayor contacto con ella en la escuela, valiéndose del cultivo de plantas útiles (Falconí *et al.*, 2019)

Si bien en la última década ha existido una preocupación sobre la desvinculación que los niños experimentan con su entorno natural (Martínez *et al.*, 2020), no existen muchos estudios sobre el conocimiento ambiental de las personas adultas e infantes en países en vías de desarrollo (Duron-Ramos *et al.*, 2020). En la región andina se han reportado estudios de las percepciones que los pobladores locales tienen sobre los servicios ecosistémicos; no obstante, se enfocan úni-

camente en la disposición a pagar por ellos (Pinos-Morocho *et al.*, 2021). De manera que es fundamental estudiar el proceso por el cual las personas reconocen, mediante los sentidos, a su ambiente circundante para asignar significados. La formación de las percepciones ambientales está influida por diferentes formas, colores, sonidos, olores y texturas que producen sensaciones (Guirao, 1980), pero también por factores sociodemográficos, que cambian en el tiempo y el espacio geográfico (Wan *et al.*, 2020). Las creencias y valores también intervienen en las percepciones ambientales que anteceden y detonan sucesivamente a las actitudes ambientales, y estas a su vez, a los comportamientos ambientales (Stern y Dietz, 1994).

Por lo tanto, analizar este tipo de percepciones en los niños es particularmente importante, pues la niñez es una etapa clave para desarrollar una conciencia ambiental que perdure hasta la edad adulta. Durante la infancia media (6-12 años) se desarrolla un sentido de responsabilidad y cuidado por la naturaleza; también se reconoce a otras criaturas como seres autónomos, principalmente en áreas cercanas y cotidianas (Kellert, 2005).

Por el contrario, existe evidencia que reporta que la pérdida de conocimiento ecológico conlleva a disminuir el vínculo humano-naturaleza (Parra-Saldívar *et al.*, 2020). En consecuencia, para que exista un aprendizaje efectivo sobre aspectos ambientales durante la infancia, es necesario relacionar

el entorno escolar, las prácticas pedagógicas y las experiencias significativas (Quesada, 2019). La inclusión de áreas verdes en las escuelas potencia estas experiencias, pues un espacio natural permite una interacción directa y fomenta el aprendizaje de los niños (Ngo *et al.*, 2019); permitiéndoles comprender la compleja relación entre los seres humanos y los elementos de la naturaleza. Al mismo tiempo, estos espacios con vegetación, y en general, un diseño escolar que incluya la sustentabilidad permite que los estudiantes desarrollen de forma significativa percepciones, actitudes y comportamientos proambientales (Tucker y Izadpanahi, 2017). Más aún, se ha comprobado que los niños pueden apreciar las plantas a medida que las conocen y que el género femenino tiene una mayor conciencia y conocimiento sobre la biodiversidad (Duarte *et al.*, 2017).

Conforme a las consideraciones planteadas, el presente estudio busca analizar la importancia que los niños (infancia media) dan a la vegetación urbana como proveedora de servicios ecosistémicos, a través de su rol ecológico, alimenticio y en la salud humana. Se analizó la influencia del género de los niños ($n=1128$) y de la presencia o no de áreas verdes escolares para identificar qué tipo de servicio ecosistémico se reconoce en mayor medida; y si los estudiantes de escuelas con vegetación tendrían más facilidad para distinguir las tres categorías de servicios ecosistémicos estudiados.

Este conocimiento de las percepciones que tienen los niños sobre los servicios ecosis-

témicos que presta la vegetación, permitirá crear estrategias efectivas de educación ambiental formal e informal, que integren la visión propia de los infantes para lograr un aprendizaje más significativo. Además, incidirá en la concepción y distribución del espacio físico en las escuelas, uno de sus espacios inmediatos y cotidianos. Si la planificación del espacio escolar incluyera un enfoque ecocéntrico, que aprecie a la naturaleza por su valor intrínseco y que fomente el contacto directo con ella, se inculcarían valores de respeto y solidaridad en los niños hacia todas las formas de vida que perdurarán hasta la edad adulta.

MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología tuvo un enfoque cuanti y cualitativo. Se realizó un estudio de corte transversal en ocho escuelas públicas de la ciudad de Cuenca, provincia Azuay, al sur de Ecuador, en la cordillera de Los Andes. El estudio se desarrolló entre abril y julio de 2019. Las escuelas seleccionadas cumplían con las siguientes características: estar en el casco urbano, presencia de espacios verdes en diferentes proporciones, disposición de autoridades y docen-

tes a participar en el estudio y contar con al menos un grupo activo de estudiantes de tercer y cuarto grado.

Las escuelas participantes se ubican en seis parroquias urbanas (*figura 1*) y se clasificaron como escuelas con áreas verdes (CAV) (n=4) y sin áreas verdes (SAV) (n=4) (*tabla 1*), de acuerdo con lo descrito por Durán *et al.* (2016). Esta clasificación también fue respaldada con la herramienta *Google Maps* para corroborar la presencia/ausencia de las áreas verdes. De forma complementaria se realizó un análisis cualitativo basado en la observación no participante y la clasificación de los espacios escolares de recreación. Por medio de una matriz se recolectó evidencia sobre la presencia e importancia que las escuelas asignan a los espacios verdes (n=6 ítems) o a las construcciones/edificaciones (n=6 ítems) dentro de sus predios.

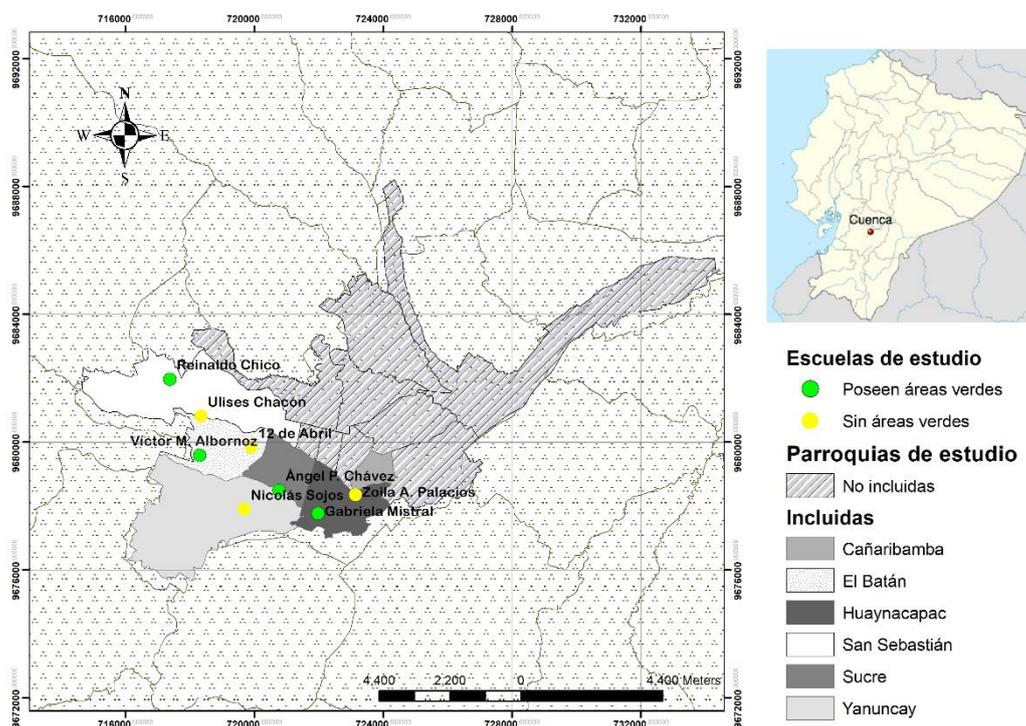
En cada escuela se trabajó con un máximo de dos grupos (entre 30 y 50 estudiantes por grupo) y la muestra completa fue de 1128 estudiantes (543 niñas y 585 niños), de entre 8 y 12 años, que se escogieron mediante muestreo intencional (Otzen y Manterola, 2017).

Tabla 1. Categorización de las escuelas participantes de acuerdo con la presencia o ausencia de áreas verdes.

Escuelas participantes	
Con área verde	Sin área verde
Gabriela Mistral	Nicolás Sojos
Víctor M. Albornoz	12 de Abril
Reinaldo Chico	Ulises Chacón
Ángel P. Chávez	Zoila A. Palacios

Fuente: Elaboración propia.

Figura 1. Ubicación de las escuelas participantes en las seis parroquias urbanas de la ciudad de Cuenca.



Fuente: Elaboración propia.

Para la recolección y análisis de datos se utilizó una encuesta descriptiva (Peker y Ceylan, 2020) para determinar las percepciones que los escolares tienen sobre los servicios ecosistémicos de la vegetación urbana. Con base en la clasificación de los servicios ecosistémicos propuesta por Millennium Ecosystem Assessment (2005), se desarrolló la encuesta con seis preguntas de opción múltiple. Esta fue aplicada a cada estudiante para conocer con exactitud sus percepciones, al elegir una de las

respuestas planteadas. Todas las preguntas incluían opciones de respuesta correspondientes a los servicios ecosistémicos de abastecimiento, regulación y culturales, que posteriormente se catalogaron bajo criterios específicos (tabla 2). Además, se incluyó una opción libre para que los niños pudiesen expresar una respuesta diferente a las propuestas si así lo deseaban. Se trabajó con cada grupo durante 40 minutos aproximadamente y en compañía de las maestras.

Tabla 2. Categorías y conceptualización de los servicios ecosistémicos estudiados.

Categoría *	Concepto	Elementos percibidos
Servicios ecosistémicos de abastecimiento	Bienes materiales que las plantas proveen al grupo meta de forma directa	Alimento, medicina, espacio
Servicios ecosistémicos de regulación	Beneficios que las plantas brindan y que influyen sobre la calidad de vida de organismos humanos y no humanos	Aire puro, agua limpia, hábitat, polinización y aporte al ciclo vital
Servicios ecosistémicos culturales	Apreciación estética, afectiva o espiritual que el grupo meta tiene hacia las plantas	Colores, olores, disfrute, elementos estéticos y espirituales

Nota: * Categorías basadas en la Millennium Ecosystem Assessment (2005)

Fuente: Elaboración propia.

RESULTADOS

Los resultados de la observación no participante (tabla 3) corroboraron que las escuelas CAV valoran la vegetación y por eso, intentan incluirla en espacios donde los niños puedan interactuar con ella durante los momentos de recreación, o al menos para que sea parte importante del paisaje escolar. En tres de las cuatro escuelas CAV se observaron espacios con plantas desde

el ingreso a las instalaciones educativas y de forma complementaria existen patios con césped natural y un área destinada para el proyecto TiNi. Por otro lado, si bien tres de las escuelas SAV también mantienen dicho proyecto, de forma general, se observó una mayor presencia de entornos construidos y sin elementos naturales para actividades de descanso y recreación.

Tabla 3. Matriz de observación para evaluar la importancia que las escuelas asignan a los espacios verdes versus construcciones/edificaciones.

Características observadas en los espacios escolares de recreación	Escuelas CAV										Escuelas SAV						
	GM		VMA		RC		APC		NS		DA		UC		ZAP		
	Sí	No	Sí	No	Sí	No	Sí	No	Sí	No	Sí	No	Sí	No	Sí	No	
1.Existen canchas deportivas con césped natural	X		X		X		X		X		X		X		X		X
2.Existen canchas deportivas únicamente de cemento		X		X		X		X	X		X		X		X		X
3.Existe inmobiliaria para el descanso solo con elementos contruidos/artificiales		X		X		X		X		X	X		X		X		X
4.Existe inmobiliaria para el descanso con la presencia de vegetación	X		X		X		X		X		X		X		X		X
5.El patio principal es de cemento	X		X		X		X		X		X		X		X		X
6.Existe un patio adicional de césped	X		X		X		X		X	X		X		X		X	X
7.Existen espacios para informarse sobre las plantas y el cuidado ambiental	X		X		X		X		X		X		X		X		X
8.El patio principal está rodeado solo por construcciones (aulas, oficinas)	X		X		X		X		X	X		X		X		X	
9. El patio principal está rodeado por espacios verdes		X	X		X		X		X		X		X		X		X
10. Las construcciones escolares tienen más de tres pisos y bloquean la vista al exterior		X		X		X		X		X		X		X		X	X
11. Al ingresar se pueden observar espacios verdes	X		X		X		X		X		X		X	X		X	
12. Al ingresar se pueden observar solo edificaciones		X		X	X		X		X	X		X		X		X	X

Nota: Ítems 1, 4, 6, 7, 9 y 11 evalúan la importancia que las escuelas asignan a los espacios verdes; ítems 2, 3, 5, 8 y 10 evalúan la importancia que las escuelas asignan a las construcciones/edificaciones; CAV: escuelas con área verde; SAV: escuelas sin área verde; GM: Gabriela Mistral; VMA: Víctor M. Albornoz; RC: Reinaldo Chico; APC: Ángel P. Chávez; NS: Nicolás Sojos; DA: 12 de abril; UC: Ulises Chacón; ZAP: Zoila A. Palacios

Fuente: Elaboración propia

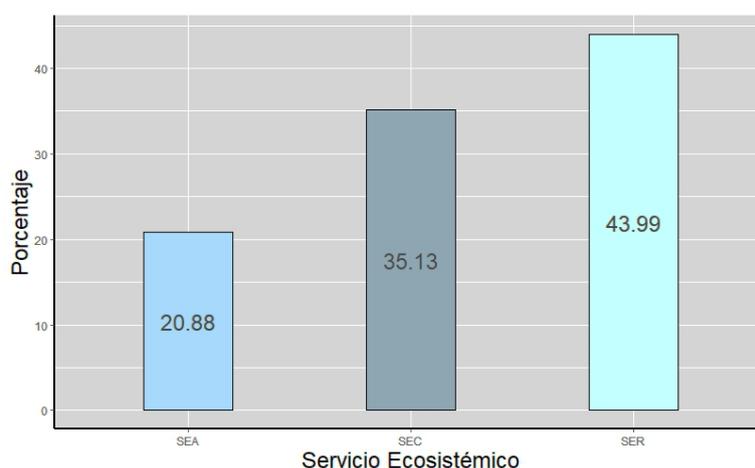
Por medio de la encuesta aplicada se establecieron las tendencias generales de los infantes. Los resultados obtenidos se evaluaron con el *software R* y *R studio* versión 4.1.0 (2021-05-18), a través de un análisis descriptivo e inferencial (n=1128).

Servicios ecosistémicos más reconocidos

En las ocho escuelas participantes se encontró que el servicio ecosistémico de regulación fue el más reconocido (43.99%),

contrariamente al planteado en la literatura, que identifica los servicios ecosistémicos de abastecimiento como los más fáciles de percibir. Los servicios ecosistémicos culturales se ubican en segundo lugar (35.13%) y sorpresivamente, los servicios ecosistémicos de abastecimiento, que son los más evidentes debido a su valor utilitario para los humanos, tuvieron el menor porcentaje de registro (20.88%), como se puede ver en la *figura 2*.

Figura 2. Porcentaje de percepción de las tres categorías de servicios ecosistémicos asociados a la vegetación.



Nota: SEA: Servicios ecosistémicos de abastecimiento; SEC: Servicios ecosistémicos culturales; SER: Servicios ecosistémicos de regulación.

Fuente: Elaboración propia.

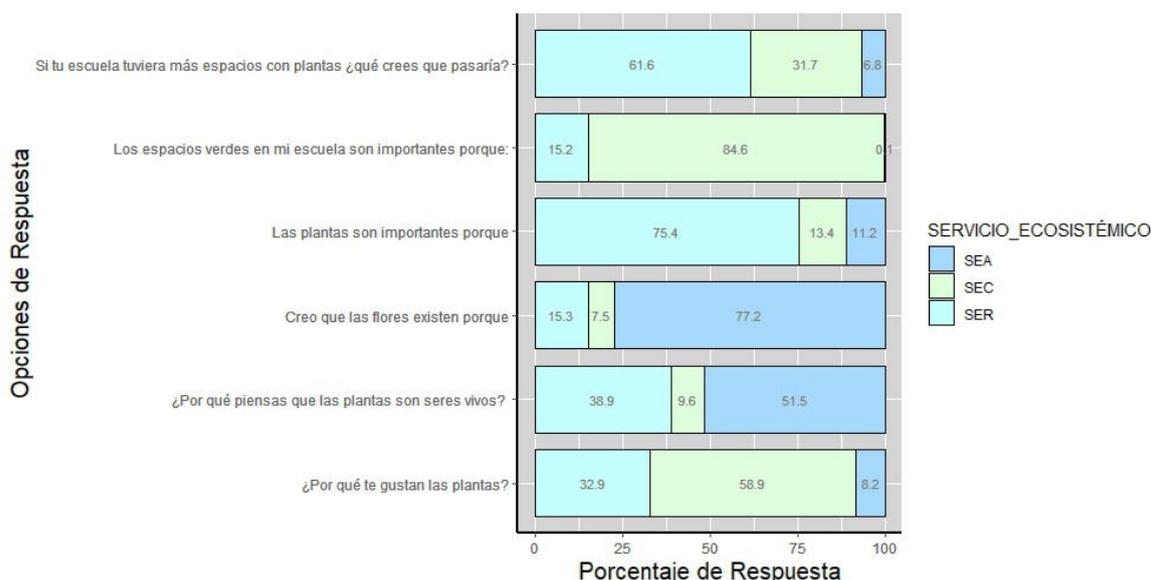
En la *figura 3* se puede observar los porcentajes de respuesta, correspondientes a cada servicio ecosistémico en las seis preguntas planteadas. La pregunta que obtuvo más del 70% de respuestas relacionadas con el servicio ecosistémico de regulación fue aquella donde los niños admitieron la importancia de las plantas e indicaron que las reconocen como seres vivos que forman parte de la naturaleza, que permiten el mantenimiento del ciclo hidrológico y que ayudan a limpiar el aire.

En segundo lugar, con más del 60% de respuestas relacionadas con el servicio ecosistémico de regulación, se encuentra la pregunta en la que los estudiantes debían pensar cuál sería la consecuencia positiva si su escuela tuviese más espacios con vegetación. Las respuestas señalaron una mejor calidad del aire y la posibilidad de que el entorno escolar tuviera más vida, porque la vegetación atrae a algunas especies animales. Vale la pena recalcar que esta fue una pregunta dirigida a un planteamiento hipotético.

Sin embargo, en la pregunta donde debían indicar la importancia de la vegetación presente en sus escuelas, se observó que los servicios ecosistémicos culturales tuvieron un porcentaje de reconocimiento superior al 80%. Las respuestas revelan que la presencia de plantas embellece el espacio físico y permite el disfrute de los niños al tener contacto real con la vegetación. De igual manera, al preguntar por qué les gustan estos organismos se obtuvo la misma argumentación: belleza, experiencias sensoriales placenteras (olores, colores, formas) y también el regocijo de interactuar directamente con la naturaleza.

Finalmente, los servicios ecosistémicos de abastecimiento tuvieron el mayor porcentaje de reconocimiento al preguntar sobre cuál sería la razón de la existencia de las flores. Más del 70% del grupo meta dio respuestas relacionadas con el alimento y la medicina que los seres humanos obtenemos de ellas; mientras que en porcentajes bastante menores se las relacionó con la polinización y con una valoración puramente estética. Igualmente, más del 50% de los participantes considera que las plantas son seres vivos únicamente bajo una perspectiva utilitaria, y las valoran únicamente por los beneficios que los humanos obtenemos de ellas, especialmente como alimento, medicina y por el oxígeno que aportan.

Figura 3. Preguntas asociadas a las tres categorías de servicios ecosistémicos de la vegetación y porcentajes de respuesta.



Nota: SEA: Servicios ecosistémicos de abastecimiento; SEC: Servicios ecosistémicos culturales; SER: Servicios ecosistémicos de regulación.

Fuente: Elaboración propia.

Percepción de los estudiantes con escuelas con área verde y sin área verde

Con respecto a la influencia de las áreas verdes escolares, se observó que tanto

en las escuelas CAV y SAV, los escolares percibieron las tres categorías de servicios ecosistémicos en un rango similar, cercano al 50%. No obstante, los niños de las

escuelas SAV identificaron con más facilidad y en un porcentaje muy cercano entre sí las dos categorías que son más complejas de percibir (servicios ecosistémicos de regulación y culturales). Únicamente los

servicios ecosistémicos de abastecimiento fueron identificados en mayor porcentaje (58.15 %) por los estudiantes de las escuelas CAV (tabla 4 y figura 4).

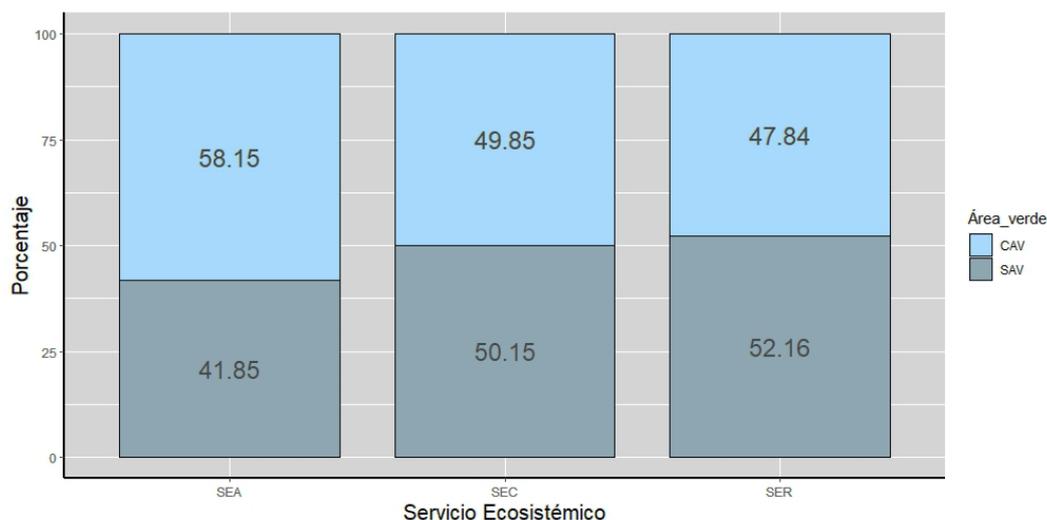
Tabla 4. Porcentaje de identificación de las tres categorías de servicios ecosistémicos de la vegetación de acuerdo con la presencia y ausencia de áreas verdes escolares.

		Servicio ecosistémico identificado		
		SER	SEA	SEC
Presencia/ausencia de áreas verdes en escuelas	CAV	47.84	58.15	49.85
	SAV	52.16	41.85	50.15

Nota: CAV: escuela con área verde; SAV: escuela sin área verde; SER: servicio ecosistémico de regulación; SEA: servicio ecosistémico de abastecimiento y SEC: servicio ecosistémico cultural.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 4. Identificación de las tres categorías de servicios ecosistémicos de la vegetación de acuerdo con la presencia y ausencia de áreas verdes escolares.



Nota: CAV: escuela con área verde; SAV: escuela sin área verde; SER: servicio ecosistémico de regulación; SEA: servicio ecosistémico de abastecimiento y SEC: servicio ecosistémico cultural.

Fuente: Elaboración propia.

Las escuelas SAV mantienen el patrón que se observa en la figura 2, donde el orden de percepción ubica a los servicios ecosistémicos de regulación en primer lugar, ser-

vicios ecosistémicos culturales en segundo y servicios ecosistémicos de abastecimiento en tercero, con el menor porcentaje registrado para todas las escuelas participantes.

Por otro lado, la percepción de los servicios ecosistémicos de regulación y servicios ecosistémicos culturales en las escuelas CAV no alcanzó el 50%.

Disposición del género femenino para percibir los servicios ecosistémicos de regulación

Se utilizó la prueba de independencia Chi cuadrado, $X^2=21.127$; $p=0.0121$ que indica que los niños ($n=585$) tuvieron una mayor percepción de los servicios ecosistémicos de regulación que las niñas ($n=543$). A pesar de que porcentualmente solo existe una diferencia del 2.7%, el género masculino tuvo un 51.35% mientras que un 48.65% correspondió al género femenino. Este resultado contradice el sustento bibliográfico que indica la mayor facilidad de las niñas para reconocer los servicios ecosistémicos de regulación.

DISCUSIÓN

El objetivo central de la presente investigación fue conocer las percepciones que el grupo meta tuvo sobre las tres categorías de servicios ecosistémicos que presta la vegetación urbana. Cuando los infantes reconocen la influencia de los elementos naturales en sus entornos cotidianos, empiezan a experimentar un mayor sentimiento de seguridad (Bento y Dias, 2017).

De acuerdo con la literatura, los servicios ecosistémicos de regulación son los más difíciles de percibir por su intangibilidad (Millennium Ecosystem Assessment, 2005; Caballero-Serrano *et al.*, 2017; Pinos-Morcho *et al.*, 2021). Es así como los resultados encontrados en este estudio son alentado-

res, al demostrar que más del 40% del grupo meta los reconoce. Si bien los niños tienen una visión antropocéntrica hacia las plantas porque las identifican como fuente de alimento, medicina y placer (Tunnicliffe, 2001), los datos obtenidos demostraron que, en este contexto particular, los servicios ecosistémicos de regulación de la vegetación fueron los más registrados. Particularmente, estuvieron enfocados hacia el mejoramiento de la calidad del aire y la asociación a otras formas de vida, como, por ejemplo, la atracción de ciertas especies animales. Los escolares valoran positivamente el poder vivir en un entorno con aire puro e identifican este servicio ecosistémico de regulación como una de las principales funciones de las plantas (Kaplan y Topsakal, 2013).

Adicionalmente, los niños identificaron a la vegetación como un elemento vivo, que permite la vida de otras especies, principalmente del reino animal. Esta información es valiosa, puesto que a pesar de que en la infancia hay una preferencia por los animales, debido a su capacidad de movimiento (Kaplan y Topsakal, 2013), los participantes en este estudio mencionaron otro rol de la vegetación, que no es tan fácil de determinar por este grupo etario. Estos resultados indican claramente que el mantener un contacto directo con las plantas, ya sea en la escuela o en la casa, permite un mayor y mejor reconocimiento de los servicios ecosistémicos que ellas brindan sin encasillarse en una visión meramente utilitaria.

A propósito de este contacto directo, el reconocimiento de los servicios ecosistémicos culturales puede estar ligado a que la per-

cepción requiere una comparación con imágenes mentales y memorias relacionadas con ciertas especies vegetales habituales para el grupo meta. Los recuerdos que más fácilmente regresan a nuestra memoria son aquellos que fueron almacenados por medio de los sentidos y que crearon vínculos entre sí (Kaasinen, 2019). Los niños identificaron el valor estético que tienen las plantas porque en esta etapa del desarrollo, les llama mucho la atención los colores, formas, texturas y olores (Tunncliffe, 2001), pero también sus percepciones sobre los servicios ecosistémicos culturales parecen estar asociadas a vivencias y creencias de su entorno familiar.

Complementariamente, en el contexto estudiado, gran parte de los participantes provienen de entornos rurales o tienen acceso frecuente a estos, lo que incrementa su conocimiento y actitudes positivas hacia las plantas (Whitburn *et al.*, 2020). Esto también refleja la importancia que los niños dan a la experiencia directa en la naturaleza, puesto que su interacción con la vegetación puede proporcionar beneficios en la salud, y brindar oportunidades de relajación y recreación (Talal *et al.*, 2021).

Influencia de las áreas verdes escolares en la percepción de los servicios ecosistémicos de la vegetación

Es bien sabido que los espacios físicos influyen directamente en los individuos que interactúan con ellos, de forma especial en los niños. También la calidad y estética de la infraestructura escolar potencian los procesos de enseñanza y aprendizaje, por lo que el entorno físico influye tanto en el rendimien-

to académico, alivio del estrés y percepción de seguridad (Campagnaro *et al.*, 2020). No obstante; varias escuelas públicas de América Latina tienden a ser lugares poco acogedores, construidos con bajo presupuesto que el Estado asigna a la infraestructura educativa (Quesada, 2019).

Sin embargo, los resultados obtenidos indican que existen otros factores, además del entorno físico, que juegan un rol fundamental en la formación de las percepciones ambientales. Los niños de las escuelas sin área verde tuvieron una mayor facilidad para percibir aquellas categorías de servicios ecosistémicos que son menos evidentes. Al parecer, los participantes de estas escuelas han adquirido conocimientos relacionados con los servicios ecosistémicos de las plantas mediante sus relaciones afectivas más significativas y cotidianas (padres y abuelos) en una interacción real con la naturaleza.

Por otra parte, los estudiantes de las escuelas con área verde demostraron tener una visión más utilitarista al reconocer en mayor medida los servicios ecosistémicos de abastecimiento. Esto se explica porque su interés está enfocado hacia las plantas que representan utilidad en sus vidas y a las cuales están habituadas, coincidiendo con lo señalado por Bowker (2007). También se relaciona con el lugar de residencia y con la sensibilidad de los profesores, quienes influyen en gran medida en las actitudes de sus estudiantes (Pineda-Jiménez *et al.*, 2018). Este resultado se contrapone a estudios que sugieren que un mayor contacto con la naturaleza influye en que los niños sean más sensibles a temas ambientales en función

del contexto cultural y social en que se desarrollan (Barbosa *et al.*, 2020).

Si bien los datos de este estudio indican que la presencia o ausencia de las áreas verdes escolares no es un factor muy significativo para la percepción de los servicios ecosistémicos derivados de la vegetación urbana, se deben considerar a las escuelas como entornos que permiten a los estudiantes comprender la compleja relación entre el ser humano y la naturaleza. Todas las escuelas participantes se ubican en zonas residenciales de clase media, las cuales son diversas en términos de vegetación, limitándose principalmente a jardines privados (Dobbs *et al.*, 2019). De manera que, al incluir áreas verdes en las escuelas, en un porcentaje mayor al 30% de su superficie total, y permitir a los niños tener un contacto directo con ella (Durán *et al.*, 2016), se estará enriqueciendo el sentido de la educación más allá de sus propósitos académicos (Quesada, 2019). De esta manera, dentro del aprendizaje se promueve la actividad física, incrementa la conexión con la naturaleza, y mejora el entorno de vida (Zhang *et al.*, 2022).

En este estudio también se observó que los niños percibieron con mayor facilidad los servicios ecosistémicos de regulación, frente a las niñas; pese a que estos servicios ecosistémicos son los más complicados de reconocer. Estos resultados podrían interpretarse como que la actitud de los niños hacia el ambiente es más favorable que la de las niñas (Genc *et al.*, 2018). Ellos demostraron tener una mayor atención hacia las diversas funciones que las plantas cumplen, valorándolas más allá de un enfoque utilitario. El género masculino tiende a interesarse más en aspectos de las plantas que evidencien su funcionamiento y estructura, mien-

tras que el femenino se enfoca en características más estéticas, como por ejemplo los colores (Sanders, 2007).

La información obtenida es interesante, pues, aunque contradice lo reportado en múltiples estudios que indican que las niñas muestran una mayor sensibilidad a los temas ambientales que los niños (Durán *et al.*, 2016; Vicente-Molina *et al.*, 2018), permite reconocer que el género masculino, en el contexto estudiado, mantiene una relación más cercana con la vegetación en su entorno. Es así como el análisis de las percepciones ambientales de los niños y niñas es particularmente importante, porque a medida que crecen, su interés por la biodiversidad disminuye de forma significativa (Nates *et al.*, 2010).

CONCLUSIONES

Los niños (8 a 12 años) de las ocho escuelas públicas en la ciudad de Cuenca, reconocieron en mayor medida el servicio ecosistémico de regulación, al entender que las plantas influyen significativamente en la calidad de vida de los organismos. Los servicios ecosistémicos culturales fueron percibidos en segundo lugar, debido a que el grupo meta se encuentra en un rango etario en el que los colores, formas, texturas y olores llaman su atención. Además, se observó que independientemente de que la escuela posea o no áreas verdes, todo el grupo meta percibió las tres categorías de servicios ecosistémicos, en un porcentaje similar entre sí y cercano al 50%. Esto sugiere que, aunque el entorno físico escolar juega un rol fundamental en la formación de las percepciones ambientales, existen otros elementos relevantes, tales

como el contacto directo con la naturaleza y el aprendizaje acerca de la vegetación que se desprende de su cotidianidad en el entorno familiar.

Por otra parte, se encontró una diferencia significativa entre géneros con respecto a la facilidad para percibir los servicios ecosistémicos de regulación. De forma antagónica a la literatura, los niños demostraron un porcentaje de reconocimiento más alto que las niñas. Estos resultados son valiosos porque revelan que, en el contexto estudiado, los

niños tienen una comprensión y un vínculo con las plantas; asimismo, las niñas también pudieron percibir estos servicios, solo que en un menor porcentaje. Estos resultados deberían motivar a las escuelas para generar una reconexión con la vegetación, haciendo uso del entorno escolar y del conocimiento generado por la interacción familiar, de manera que los estudiantes tengan un acercamiento y una comprensión más completa de la naturaleza, más allá de la valoración puramente instrumental.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barbosa, M. V., Pimentel, R. M. de M y Bilar, A. B. C. (2020). Multidisciplinaridade da percepção ambiental aplicada às relações homem-natureza: Revisão sistemática. *Journal of Environmental Analysis and Progress*, 5(2), 156-168. <https://doi.org/h4c8>
- Bento, G. y Dias, G. (2017). The importance of outdoor play for young children's healthy development. *Porto Biomedical Journal*, 2(5), 157-160. <https://doi.org/gjrsd4>
- Bowker, R. (2007). Children's perceptions and learning about tropical rainforest: an analysis of their drawings. *Environmental Education Research*, 13(1), 75-96. <https://doi.org/fkb5mz>
- Caballero-Serrano, V., Alday, J. G., Amigo, J., Caballero, D., Carrasco, J. C., McLaren, B., Onaindia, M. (2017). Social perceptions of biodiversity and ecosystem services in the ecuadorian amazon. *Human Ecology*, 45, 475-486. <https://doi.org/gbtt4k>
- Campagnaro, T., Vecchiato, D., Arnberger, A., Celegato, R., Da Re, R., Rizzetto, R., Semenzato, P., Sitzia, T., Tempesta, T. y Cattaneo, D. (2020). General, stress relief and perceived safety preferences for green spaces in the historic city of Padua (Italy). *Urban Forestry & Urban Greening*, 52, 126695. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2020.126695>
- Dobbs, C., Escobedo, F. J., Clerici, N., de la Barrera, F., Eleuterio, A. A., MacGregor-Fors, I., Reyes-Paecke, S., Vásquez, A., Zea, J. D. y Hernández, H. J. (2019). Urban ecosystem services in Latin America: mismatch between global concepts and regional realities? *Urban Ecosystems*, 22, 173–187. <https://doi.org/10.1007/s11252-018-0805-3>

- Duarte, R., Escario, J. J. y Sanagustín, M. V. (2017). The influence of the family, the school, and the group on the environmental attitudes of European students. *Environmental Education Research*, 23(1), 23-42. <https://doi.org/10.1080/13504622.2015.1074660>
- Durán, M. E., Barrientos, Z. y Charpentier, C. (2016). Percepción ambiental de escolares urbanos: Influencia de áreas verdes, financiamiento y sexo en Costa Rica. *Cuadernos de Investigación UNED*, 8(1), 31-39. <https://doi.org/10.22458/urj.v8i1.1220>
- Duron-Ramos, M. F., Collado, S., García-Vázquez, F. I. y Bello-Echeverría, M. (2020). The role of urban/rural environments on Mexican children's connection to nature and pro-environmental behavior. *Frontiers in Psychology*, 11, 514. <https://doi.org/gpbdsx>
- Falconí, F., Reinoso, M. E., Collado-Ruano, J., Hidalgo, E. y León, G. D. (2019). Environmental education program in Ecuador: theory, practice, and public policies to face global change in the Anthropocene. *Ensaio: Avaliação e Políticas Públicas em Educação*, 27(105), 859-879. <https://doi.org/h5tr>
- Fletcher, R. (2017). Connection with nature is an oxymoron: A political ecology of "nature-deficit disorder". *The Journal of Environmental Education*, 48(4), 226-233. <https://doi.org/giz5hz>
- Genc, M., Genc, T. y Rasgele P. G. (2018). Effects of nature-based environmental education on the attitudes of 7th grade students towards the environment and living organisms and affective tendency. *International Research in Geographical and Environmental Education*, 27(4), 326-340. <https://doi.org/h4c9>
- Guirao, M. (1980). *La percepción: bases sensoriales. Los sentidos, bases de la percepción* (Primera edición). Editorial Alhambra. <https://bit.ly/3PLxBuV>
- Kaasinen, A. (2019). Plant species recognition skills in Finnish students and teachers. *Education Sciences*, 9(2), 85. <https://doi.org/10.3390/educsci9020085>
- Kaplan, K. y Topsakal, U. U. (2013). Primary school students' attitudes toward plants. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 89, 598-606. <https://doi.org/h4db>
- Karatekin, K. (2019). Model review Related to the effects of teachers' levels of ecological citizenship. *International Electronic Journal of Environmental Education*, 9(1), 46-61. <https://bit.ly/3cZrMlZ>
- Kellert, S. R. (2005). Nature and childhood development in *Building for Life: Designing and Understanding the Human-Nature Connection* (pp. 63-89). Island Press. <https://n9.cl/ob8yu>

- Korkmaz, M., Fakir, H. y Alkan, H. (2017). Effects of nature training projects on environmental perception and attitudes. *Applied ecology and environmental research*, 16(1), 359-369. <https://doi.org/h5tz>
- Louv, R. (2018). *Los últimos niños en el bosque. Salvemos a nuestros hijos del trastorno por déficit de naturaleza*. Capitán Swing libros.
- Martínez, R., Caballo, M. B. y Varela, L. (2020). El ocio en el medio natural como promotor de la conexión emocional con la naturaleza. Un estudio en clave ambiental con adolescentes pontevedreses (Galicia-España). *Pensamiento educativo*, 57(2), 1-16. <https://doi.org/h4dc>
- Millennium Ecosystem Assessment. (2005). *Ecosystems and Human Well-Being: Synthesis*. Island Press. <https://bit.ly/3IzIKOI>
- Nates, J., Campos, C. y Lindemann-Matthies, P. (2010). Students' perception of plant and animal species: a case study from rural Argentina. *Applied Environmental Education & Communication*, 9(2), 131-141. <https://doi.org/c8542v>
- Ngo, K. M., Hosaka, T. y Numata, S. (2019). The influence of childhood nature experience on attitudes and tolerance towards problem-causing animals in Singapore. *Urban Forestry y Urban Greening*, 41, 150-157. <https://doi.org/h4cf>
- Otzen, T. y Manterola, C. (2017). Técnicas de muestreo sobre una población a estudio. *International Journal of Morphology*, 35(1), 227-232. <https://doi.org/chs5>
- Parra-Saldívar, A., Abades, S., Celis-Diez, J. L. y Gelcich, S. (2020). Exploring Perceived Well-Being from Urban Parks: Insights from a Megacity in Latin America. *Sustainability*, 12(18), 7586. <https://doi.org/gn7f9k>
- Peker, R. y Ceylan, S. (2020). Environmental Perceptions of Primary School Fourth Grade Students. *Journal of Educational Issues*, 6(1), 422-438. <https://doi.org/h4cg>
- Pineda-Jiménez, C., López-Medellín, X., Wehncke, E. V. y Maldonado-Almanza, B. (2018). Construir sociedades comprometidas con el entorno natural: educación ambiental en niños del sur de Morelos, México. *Región y sociedad*, 30(72). <https://doi.org/h4ck>
- Pinos-Morocho, D., Morales-Matute, O. y Durán-López, M. E. (2021). Suelos de páramo: Análisis de percepciones de los servicios ecosistémicos y valoración económica del contenido de carbono en la sierra sureste del Ecuador. *Revista de Ciencias Ambientales*, 55(2), 157-179. <https://doi.org/h4cr>

- Quesada, M. J. (2019). Condiciones de la infraestructura educativa en la región pacífico central: los espacios escolares que promueven el aprendizaje en las aulas. *Revista Educación*, 43(1), 293-311. <https://doi.org/dc5v>
- Sanders, D. L. (2007). Making public the private life of plants: The contribution of informal learning environments. *International Journal of Science Education*, 29(10), 1209-1228. <https://doi.org/d8ncgr>
- Stern, P. y Dietz, T. (1994). The value basis of environmental concern. *Journal of Social Issues*, 50(3), 65-84. <https://doi.org/bbhb9m>
- Talal, M. L., Santelmann, M. V. y Tilt, J. H. (2021). Urban park visitor preferences for vegetation—An on-site qualitative research study. *Plants, People, Planet*, 3(4), 375-388. <https://doi.org/gn5vdj>
- Tucker, R. y Izadpanahi, P. (2017). Live green, think green: Sustainable school architecture and children's environmental attitudes and behaviors. *Journal of Environmental Psychology*, 51, 209-216. <https://doi.org/f99jnk>
- Tunncliffe, S. D. (2001) Talking about plants—comments of primary school groups looking at plant exhibits in a botanical garden. *Journal of Biological Education*, 36(1), 27-34. <https://doi.org/b38gj8>
- Vicente-Molina, M. A., Fernández-Sainz, A. y Izagirre-Olaizola, J. (2018). Does gender make a difference in pro-environmental behavior? The case of the Basque Country University students. *Journal of Cleaner Production*, 176(1), 89-98. <https://doi.org/gcpf88>
- Wan, J., Su, Y., Zan, H., Zhao, Y., Zhang, L., Zhang, S., Dong, X. y Deng, W. (2020). Land functions, rural space governance, and farmers' environmental perceptions: a case study from the Huanjiang karst mountain area, China. *Land*, 9(5), 134. <https://doi.org/h4c5>
- Whitburn, J., Linklater, W. y Abrahamse, W. (2020). Meta-analysis of human connection to nature and proenvironmental behavior. *Conservation Biology*, 34(1), 180-193. <https://doi.org/ggnn34>
- Zhang, Z., Martin, K. L., Stevenson, K. T. y Yao, Y. (2022). Equally green? Understanding the distribution of urban green infrastructure across student demographics in four public school districts in North Carolina, USA. *Urban Forestry & Urban Greening*, 67, 127434. <https://doi.org/h4c6>

AGRADECIMIENTOS:

A las y los directores de las escuelas Ángel Chávez, Gabriela Mistral, Víctor Albornoz, Zoila Palacios, Ulises Chacón, Reinaldo Chico, Nicolás Sojos y 12 de abril. A las maestras y a los estudiantes de los grados involucrados en este estudio. A la Dirección de Vinculación de la Universidad de Cuenca por los fondos asignados. A los estudiantes participantes de las carreras de Ingeniería Ambiental y Bioquímica y Farmacia de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad de Cuenca, por su valiosa asistencia con las encuestas. Al Dr. Rodrigo Carroca Cáceres por su colaboración en la traducción al idioma inglés.



Experiencia pedagógica virtual de educación ambiental: Reto del ecoladrillo

Virtual pedagogical experience of environmental education: Eco brick challenge

Experiência pedagógica virtual de educação ambiental: Eco brick challenge

Leticia Ramírez Rubio / CETYS Universidad, México / leticia.ramirez@cetys.mx

Recibido: 23/4/2022

Aceptado: 19/7/2022

Publicado: 10/8/2022

RESUMEN

El presente trabajo documenta la experiencia del *reto del ecoladrillo* como estrategia pedagógica con alumnos universitarios en modalidad virtual. El objetivo es reconocer la aportación individual en la generación de residuos y el consumo responsable por parte de los alumnos. El reto consistió en recuperar residuos inorgánicos durante 21 días para colocarlos dentro de una botella de tereftalato de polietileno, esta actividad debía ser documentada diariamente utilizando la herramienta *diario* de Blackboard®. Se realizó un análisis cualitativo del contenido del diario de cada alumno, utilizando el software QDA Miner® la información se categorizó en antes, durante y después del reto. Al finalizar el reto, los alumnos se vieron a sí mismos como agentes de cambio debido a que con pequeñas acciones individuales pueden hacer una diferencia para el planeta. El 41% de los participantes se comprometieron a mejorar sus hábitos de consumo para disminuir la cantidad de residuos y el 19% manifestó que continuarían realizando el ecoladrillo. Si bien un ecoladrillo no es la solución a la problemática ambiental, sí es una herramienta que motiva a la acción pues el alumno hace cambios en su estilo de vida con la esperanza de que lo aplique en su vida profesional futura.

Palabras clave: acción participativa, consumo responsable, didáctica ambiental, estrategia pedagógica, hábitos de consumo

ABSTRACT

This paper documents the experience of the eco-brick challenge as a pedagogical strategy with university students in virtual mode. The objective is to recognize the individual contribution in the generation of waste and responsible consumption by students. The challenge consisted of recovering inorganic waste for 21 days to place it inside a polyethylene terephthalate bottle. This activity had to be documented daily using the Blackboard® diary tool. A qualitative analysis of the content of each student's diary was carried out, using the QDA Miner® software, the information was categorized into before, during and after the challenge. At the end of the challenge, the students saw themselves as agents of change because with small individual actions they can make a difference for the planet. 41% of the participants promised to improve their consumption habits to reduce the amount of waste, and 19% stated that they would continue to carry out the eco-brick. Although an ecobrick is not the solution to environmental problems, it is a tool that motivates action because the student makes changes in her lifestyle in the hope that she will apply it in her future professional life.

Keywords: consumption habits, environmental didactics, participatory action, pedagogical strategy, responsible consumption

RESUMO

Este artigo documenta a experiência do desafio do tijolo ecológico como estratégia pedagógica com estudantes universitários na modalidade virtual. O objetivo é reconhecer a contribuição individual na geração de resíduos e no consumo responsável pelos alunos. O desafio consistia em recuperar os resíduos inorgânicos durante 21 dias para colocá-los dentro de um frasco de polietileno tereftalato, atividade que deveria ser documentada diariamente com a ferramenta Blackboard® diário. Foi realizada uma análise qualitativa do conteúdo do diário de cada aluno, utilizando o software QDA Miner®, as informações foram categorizadas em antes, durante e após o desafio. Ao final do desafio, os alunos se viram como agentes de mudança, pois com pequenas ações individuais podem fazer a diferença para o planeta. 41% dos participantes prometeram melhorar seus hábitos de consumo para reduzir a quantidade de resíduos e 19% afirmaram que continuariam realizando o eco-tijolo. Embora um tijolo ecológico não seja a solução para os problemas ambientais, é uma ferramenta que motiva a ação, pois o aluno faz mudanças em seu estilo de vida com a esperança de que o aplicará em sua futura vida profissional.

Palavras chave: ação participativa, consumo responsável, didática ambiental, estratégia pedagógica, hábitos de consumo

INTRODUCCIÓN

La educación ambiental, también conocida como educación para el desarrollo sostenible, es una tendencia educativa que procura el involucramiento de alumnos y docentes en el proceso de enseñanza-aprendizaje con la finalidad de generar conciencia sobre la preservación del ambiente (Al-Naqbi y Alshannag, 2018). Para lograrlo es necesario la implementación de estrategias pedagógicas que generen un sistema interno de emociones, conductas y relaciones que desarrollen un sentido comunitario (Gola, 2017). De ahí la importancia de abordar los problemas ambientales desde la responsabilidad individual, ya que por lo regular se responsabiliza a las empresas y gobiernos, minimizando el impacto personal de cada ciudadano.

A pesar de la necesidad de la acción individual, la investigación ambiental aún no ha prestado suficiente atención a la complejidad que subyace en la toma de decisiones proambientales de las personas (Creutzig *et al.*, 2018). En el reto de buscar un cambio de actitud ambiental a nivel individual se recurre a campañas de intervención que se centran exclusivamente en formar actitudes favorables al medio y crear conciencia sobre los efectos adversos (Abrahamse *et al.*, 2005). Cabe destacar que estas son eficaces para la comprensión pública de la ciencia del clima (Moser, 2010), sin embargo, las actitudes e intenciones ambientales positivas, lamentablemente no siempre y en su totalidad se reflejan en el comportamiento de las personas como lo plantea Carrington

et al. (2014). Esta brecha entre la actitud y el comportamiento ambiental atrae la atención entre los científicos cognitivos y del comportamiento, pero, aunque se han realizado muchos estudios, todavía no se tiene una comprensión completa de los mecanismos que causan esta discrepancia (Gifford y Chen, 2017).

La educación ambiental puede definirse como el proceso interdisciplinario para desarrollar ciudadanos conscientes e informados acerca del ambiente, en su aspecto natural y modificado; con capacidad para asumir el compromiso de participar en la solución de problemas, tomar decisiones y actuar para asegurar la calidad ambiental (Mrazek, 1996). El concepto de educación ambiental ha evolucionado en el tiempo producto de múltiples cumbres internacionales y otros eventos organizados por la comunidad científica, la sociedad civil y los gobiernos. Sin embargo, fue en 1999, en Cali, Colombia, que se incorporó la dimensión ambiental a las universidades, estableciéndose lineamientos para incluir en los planes de estudio los conceptos y saberes ambientales (Bravo, 2005).

En el caso particular de México, se promovió en el currículo universitario a partir del año 2000 cuando la Asociación Nacional de Universidades e Instituciones de Educación Superior presentó el *Plan de Acción Ambiental para el Desarrollo Sustentable* en las Instituciones de Educación Superior, en el cual se sugería que estas instituciones orientaran

sus rumbos hacia la consolidación del trabajo ambiental y su vinculación con los sectores público y privado (Calixto, 2012). La ambientalización curricular puede llevarse a cabo prácticamente en todas las disciplinas, lo ambiental no puede ser entendido como una materia adicional, sino como eje transversal a los planes de estudio que deben ser críticos e interdisciplinarios ante una problemática multidimensional tal y como lo plantea Corbetta (2019).

Según Breckler (1984) las actitudes, desde la psicología, son un constructo mental asociado a un objeto abstracto o concreto que se integra por tres componentes: el cognoscitivo (pensamientos sobre el objeto, que generalmente incluyen una evaluación del objeto), el afectivo (sentimientos sobre el objeto) y el de la predisposición a la acción o intencionalidad (intenciones o acciones hacia el objeto). Cuando se habla de actitudes ambientales se refieren a los sentimientos favorables o desfavorables que se tienen hacia alguna característica del ambiente físico o hacia un problema relacionado con él (Hernández e Hidalgo, 2000). Según Gifford y Sussman (2012) las actitudes proambientales aumentan y disminuyen con los eventos actuales; además varían con la edad, el género, el nivel socioeconómico, la nación, la residencia urbana o rural, la religión, la política, los valores, la personalidad, la experiencia, la educación y el conocimiento ambiental. Los comportamientos proambientales varían en su esfuerzo por completarse, lo que influye en la relación actitud-conducta y existen muchas barreras para el cambio de comportamiento.

Para comprender mejor las intenciones y el comportamiento relativo al ambiente y al comportamiento en general, se han propuesto varias teorías para explicar este vínculo. El modelo más utilizado y aprobado es la *teoría del comportamiento planificado* desarrollado por Ajzen y Fishbein (1980); en este modelo el comportamiento proambiental es predicho por intenciones conductuales específicas, que a su vez son predichas por actitudes, normas sociales percibidas y control conductual percibido. Por otra parte, está el modelo de la *teoría del valor de las creencias y las normas* propuesto por Stern (2000), que sostiene que las creencias ambientales están precedidas por los valores personales, los cuales guían las evaluaciones cognitivas que influyen sobre las actitudes y comportamiento (Rokeach, 1968).

Con la finalidad de lograr conductas proambientales se implementan diferentes estrategias pedagógicas fundamentadas en el constructivismo, aunque la adopción de conductas es un proceso complejo y el rol de la educación ambiental en el tiempo es importante, se limita por otros grupos e instituciones sociales (Gonzalez y Bonan, 2017), a pesar de esto, no se debe minimizar el impacto individual. Como se mencionó anteriormente, la educación ambiental ha sido alfabetizadora sobre las causas de la crisis climática, liberando de cierta forma la responsabilidad individual, por lo que el monitoreo del consumo personal durante un periodo de tiempo puede ayudar no solo a reflexionar, sino a cuantificar el impacto propio que lleve a un cambio de conducta.

Por lo que con este trabajo se pretende describir la implementación del *reto del ecoladrillo* como actividad de aprendizaje, cuyo objetivo es reconocer la aportación individual en la generación de residuos y el consumo responsable por parte de los alumnos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Conforme aumenta la oferta y demanda de productos, también se incrementa la cantidad de residuos inorgánicos. Se estima que aumente aproximadamente 2 200 millones de toneladas por año para el 2025 (Hoorweg y Bhada-Tata, 2012). Por lo regular, estos residuos no tienen una correcta disposición final, sobre todo en países donde no existen los mecanismos suficientes para el buen manejo de residuos sólidos urbanos. Una alternativa para minimizar estos problemas es recuperar los plásticos y cualquier material inorgánico, de los flujos de residuos, para el reciclaje o la generación de energía (Raynaud, 2014). Para el ejercicio de reflexión-acción individual de los alumnos se eligió el ecoladrillo por ser una opción fácil de manipular, recordar y adaptar a su estilo de vida.

Los ecoladrillos, son botellas de tereftalato de polietileno (PET) llenas de residuos inorgánicos mixtos, que se convierten en un material de construcción de bajo costo

y un método válido de reciclaje para reducir los volúmenes de desechos en regiones donde el reciclaje industrial aún no está disponible (Antico *et al.*, 2017). Para hacer un ecoladrillo es necesario tener una botella PET desde 500 ml hasta de 2 L. En tal sentido Taaffe *et al.* (2014) demostraron que la medida ideal es la de 500 ml, debido a la geometría de la botella. Para el relleno se puede usar cualquier forma de plástico, incluida la película adhesiva y el envoltorio para alimentos. El plástico que entra en la botella tiene que estar relativamente limpio y siempre seco. Esto es importante porque las partículas de alimentos pueden causar la formación de moho y otras bacterias impredecibles. Es importante que la botella se seque antes de que comience el proceso de envasado.

La elaboración de los ecoladrillos es manual, se requiere realizar una separación de los residuos, limpiarlos, meterlos a la botella y compactarlos con la ayuda de un tubo de madera o metal, para que vaya quedando firme la botella. El peso promedio de un ecoladrillo de 500 ml es de 250 gr como se puede observar en la *figura 1*. Para efectos del reto se pidió a los alumnos que la botella podía ser del tamaño que tuvieran disponible en casa.

Figura 1. *Proceso de elaboración de ecoladrillo.*



Nota: *a:* botella PET; *b:* recolección de residuos plásticos; *c:* empaque de residuos plásticos dentro de botellas PET y *d:* cierre de botella PET con tapón de rosca.

Fuente: *Fotos tomadas por la autora.*

La investigación-acción propuesta por Martínez (1999) se desarrolló con 124 alumnos universitarios de las carreras de Administración y Negocios, Ingeniería, Ciencias Sociales y Humanidades de CETYS Universidad, campus Mexicali, que cursaron la materia *Ser humano y sustentabilidad*, modalidad virtual, durante el ciclo escolar 2020-2021. A continuación, se describe el procedimiento para realizar el reto en clase.

Reto del ecoladrillo: 21 días para ser un agente de cambio

El reto surge de la necesidad de mejorar la experiencia virtual de los alumnos durante el confinamiento, aprovechando que estaban en casa junto a sus familiares y que podría ser una actividad de esparcimiento y vinculación familiar. La corriente pedagógica ambiental en la que se basa esta actividad es la conservacionista/recur-

sista, la cual hace un llamado a la acción generando comportamientos individuales y proyectos colectivos que inducen a la conservación de recursos y equidad social (Sauvé, 2005).

El objetivo general del proyecto consistió en reconocer la aportación individual en la generación de residuos y el consumo responsable por parte de los alumnos. Esta iniciativa tuvo una duración de 21 días y las herramientas digitales utilizadas fueron: *diario* en Blackboard® y la plataforma Instagram®, muy usada por los jóvenes en la actualidad.

Proceso de Intervención

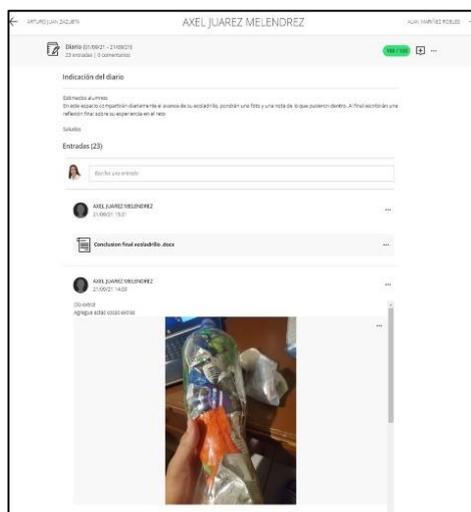
- 1) Diagnóstico: se pide a los alumnos que generen una entrada de *diario* donde escriban una reflexión de máximo 300 palabras sobre su consumo personal y si conocen o han hecho anteriormente un ecoladrillo.

2) Después que los alumnos generaron la reflexión diagnóstica en el *diario*, el maestro inicia la exposición con la pregunta: ¿saben a dónde va la basura que se genera en su ciudad? Al terminar con las aportaciones de los alumnos se comienza la presentación sobre los residuos sólidos en el relleno sanitario y sus efectos en la calidad del aire, suelo y agua. Esta presentación se realiza con la finalidad de contextualizar la problemática y recalcar la importancia de la separación correcta de los residuos desde casa para posteriormente explicar el reto del ecoladrillo.

3) Explicación del reto: se invita a los alumnos a entrar a Blackboard® donde están las instrucciones del reto, infografía sobre el contenido del ecoladrillo y un video donde se muestra cómo hacerlo.

4) Desarrollo: durante 21 días cada alumno pondrá en una botella PET los residuos inorgánicos que genere en el día, como envolturas y etiquetas. Deberá tomar una foto de su botella acompañada de una breve reflexión donde narre su experiencia recuperando residuos inorgánicos, esto se subirá al *diario* de Blackboard® cada día. En la *figura 2* se muestra un ejemplo de entrada.

Figura 2. Ejemplo de entrada al diario de Blackboard®.



Fuente: Foto tomada por la autora.

5) Una vez concluidos los 21 días, el alumno subirá una reflexión final en Blackboard® y compartirá en Instagram® la foto de su ecoladrillo terminado, tal como se aprecia en la *figura 3*.

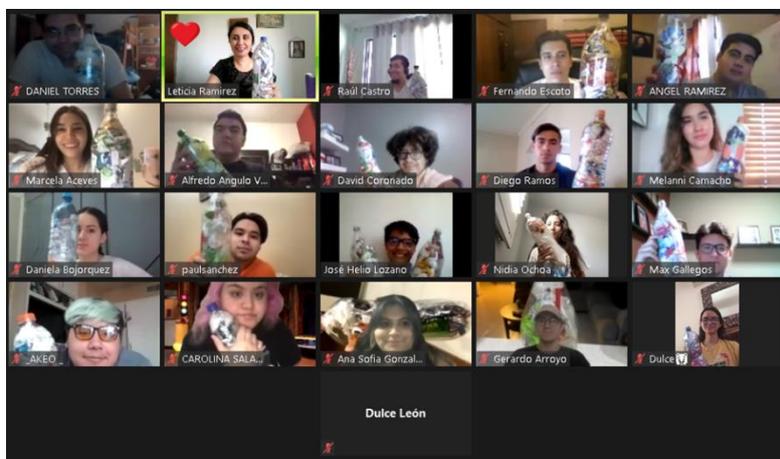
Figura 3. Publicación en Instagram®.



Fuente: Foto tomada por la autora.

6) Se organiza una sesión de conclusiones para conversar alumnos y docente sobre la experiencia de los 21 días (figura 4), enfatizando en la importancia de la economía circular y como puede ser implementada en cualquier ámbito.

Figura 4. Sesión final del reto.



Fuente: Foto tomada por la autora.

El análisis de la información se fundamentó en el establecimiento previo de categorías y subcategorías (Valero, 2007), las cuales se analizaron con el programa QDA Miner Lite®, versión gratuita y que se explican en la tabla 1.

Tabla 1. Categorización de datos.

Categoría	Subcategorías	Fuente
Antes del reto	Conocimiento previo Percepción de autoconsumo	Reflexión de 300 palabras realizada antes de la intervención (Primera entrada al diario)
Durante el reto	Contenido (Tipos de residuos) Vinculación (Familiares y amigos) Experiencia (Positiva, negativa, nivel de dificultad)	Información de cada entrada durante 21 días
Después del reto	Percepción de autoconsumo (cambio de hábitos) Visión de sí mismo (reconocimiento del impacto personal)	Reflexión final (última entrada al diario)

Fuente: Elaborada por la autora.

RESULTADOS

De acuerdo con la información obtenida de la herramienta *diario* de Blackboard® se contó que de los 124 alumnos que aceptaron el reto, el 90% completó los 21 días. Por lo que el análisis e interpretación de los datos se hizo con base en 111 diarios.

Antes del reto

El 41.66% de los estudiantes manifestaron

saber lo que era un ecoladrillo, así mismo el 60% expresó emoción por la actividad. Como se muestra en la *tabla 2* el 16% relacionó las actividades de reciclaje y composteo como buenas prácticas ambientales en sus casas. Sobre el autoconsumo, el 25% de los estudiantes reconoció no ser tan conscientes de su impacto personal.

Tabla 2. *Antes del reto.*

Subcategoría	Comentarios
Conocimiento previo	Desde el principio me emocioné mucho porque tenía ganas de hacer un ecoladrillo, pero no me animaba, hasta que por motivos de actividades escolares lo tuve que hacer. (<i>Participante 12</i>)
	Desde que nos dijeron la idea del reto estaba muy emocionada porque la verdad nunca había hecho un proyecto de estos que en sí es ayudar al medio ambiente. (<i>Participante 76</i>)
	No sé exactamente qué elementos poner en el ecoladrillo. (<i>Participante 22</i>)

Percepción de autoconsumo	Mi familia no genera muchos residuos plásticos. (<i>Participante 8</i>)	Hacemos composta, lo cual compensa un poco al separar la basura orgánica y lo utilizamos para nuestro jardín. (<i>Participante 65</i>)	En mi casa ya reciclábamos latas y botellas de plástico. (<i>Participante 32</i>)
---------------------------	---	--	---

Fuente: Elaborada por la autora.

Categoría: Durante el reto

Una vez iniciado el reto, los alumnos se enfrentaron a diferentes situaciones que se clasificaron en contenido (tipo de residuos); vinculación (apoyo de familiares y amigos) y experiencia (positiva vs. negativa, difícil vs. fácil).

Sobre el contenido, el 12.56% de los alumnos agregaron a su ecoladrillo empaques de galletas, papitas y dulces, esta actividad también los hizo reflexionar sobre sus hábitos alimenticios. En la *tabla 3* se pueden ver algunos de los comentarios

por subcategoría. A pesar de que al inicio los alumnos estaban entusiasmados por la actividad, el 13.61% expresó que la actividad fue laboriosa, pero fue una buena experiencia. La sensibilización fue la subcategoría con mayor impacto (38.7%). Por otro lado, la vinculación fue muy importante para el reto, el 22% de los alumnos involucró a sus familiares y amigos en la actividad. Por último, el 23% calificó la experiencia como positiva, debido a que pudieron identificar malos hábitos y motivar a su círculo cercano a realizar mejores prácticas a favor del ambiente.

Tabla 3. Categoría: Durante el reto.

Subcategoría	Comentarios		
Contenido	Mis ecoladrillos contienen: etiquetas de botellas (soda, aceite, agua, detergente, jugos, etc.), envolturas de dulces (panes, chocolates, etc.), empaques (pollo, carne, botellas de agua, aceite), bolsas de plástico (comida congelada, las que dan en el mercado, pan de barra), bolsas de cereal y tickets de compra. (<i>Participante 40</i>)	La basura es mayormente papas y barritas. (<i>Participante 11</i>)	Agregué al final varias bolsas de papas que encontré tiradas en la casa y una bolsa de cereal vacía. (<i>Participante 22</i>)
Nivel de dificultad	En sí trabajar en esto me agotó un poco, pero la verdad que valió la pena trabajar en este proyecto para ser agente de cambio. (<i>Participante 66</i>)	A pesar de que fue tedioso, fue una buena experiencia que no se me olvidará. (<i>Participante 98</i>)	Es un reto que llama bastante la atención y en realidad no es muy complicado. (<i>Participante 6</i>)

Sensibilización	<p>Reutilizar los residuos y hacer conciencia en cada familia y cada casa sobre qué hacer con esos residuos que se desechan y son mezclados con los demás. <i>(Participante 75)</i></p>	<p>Me pareció increíble ver la cantidad de residuos plásticos que día a día se utilizan en mi casa, nunca me había puesto a pensar en el impacto que este tiene. <i>(Participante 101)</i></p>	<p>Durante este tiempo me di cuenta que se utiliza mucho material no reciclable en los diferentes productos que consumimos día a día. Es por eso que realizar el ecoladrillo disminuye la cantidad de residuos que se van a la basura. <i>(Participante 3)</i></p>
Vinculación	<p>Esta experiencia dejó muchos más aprendizajes de los que me esperaba, al hacer este reto incentivé a gente de mi alrededor a ser un poco más conscientes de los desperdicios que se generan diariamente y han comenzado a poner de su parte. <i>(Participante 31)</i></p>	<p>No obstante, los primeros días posteando en las redes sociales no obtuve muchas interacciones, conforme avanzaba la cantidad de material que recolecté, comenzaron a preguntar sobre el reto. <i>(Participante 120)</i></p>	<p>Desde que inicié este reto, mi familia ya empieza a separar la basura, lo cual es un logro y sé que desde pequeños actos ayudo al planeta en disminuir la generación de basura. <i>(Participante 16)</i></p>
Experiencia	<p>Me pareció bastante interesante el buscar residuos no reciclables dentro de mi casa, y logré identificar un patrón que muestra que es altamente posible que tenga ciertos hábitos que no son muy sanos, y probablemente deba de cambiar. <i>(Participante 9)</i></p>	<p>Fue una experiencia muy buena y poco a poco la seguiré realizando en mi casa. <i>(Participante 32)</i></p>	<p>Es una buena manera de comenzar a involucrarse porque no te toma mucho tiempo y es fácil de completar. <i>(Participante 89)</i></p>

Fuente: *Elaborada por la autora.*

Categoría: Después del reto

En esta categoría concluye la experiencia del alumno y en la que es capaz de cuantificar su impacto ambiental, al mismo tiempo que reconoce su poder individual.

El 40.9% de los comentarios coincidieron en un cambio de percepción de autocon-

sumo, a su vez el 19.69% manifestó que después del reto era más consciente de los cambios de consumo que tiene que realizar y el 39.4% se ve a sí mismo como agente de cambio. Por último, el 19% de los alumnos dijeron que continuarían con el ecoladrillo.

Tabla 4. Después del reto.

Subcategoría	Comentarios		
Cambio de percepción de autoconsumo	Además del consumo de productos, me di cuenta de la mala alimentación que llegamos a tener en estos 21 días, las papitas fueron uno de los productos que más coloqué dentro y no dudaría en seguir con esta actividad. <i>(Participante 13)</i>	Me di cuenta de toda la basura que generamos día a día. Yo pensé que era suficiente el reciclar solamente en casa de mi mamá, concluí en que debemos hacer algo más, estamos dañando nuestro planeta de una forma muy grande y preocupante. <i>(Participante 17)</i>	Desde el primer día me di cuenta que en mi casa se consumen muchos productos que tienen artículos que no se pueden reciclar y sin duda esto es un gran problema para el ambiente. <i>(Participante 51)</i>
Cambio de hábitos	Desde que inicié este reto, mi familia ya empieza a separar la basura, lo cual es un logro y sé que desde pequeños actos ayudo al planeta en la disminución de generar basura. <i>(Participante 80)</i>	Me di cuenta de la mala alimentación que llegamos a tener en estos 21 días, las papitas fueron uno de los productos que más coloqué dentro y no dudaría que si sigo con esta actividad. <i>(Participante 20)</i>	Estuvo muy interesante hacer esta actividad, me gustó mucho tener este hábito y sin lugar a duda lo seguiré haciendo con el fin de lograr reducir mi consumo de materiales no reciclados. <i>(Participante 76)</i>
Visión de agente de cambio	En conclusión, este reto despertó en mí la necesidad de hacer algo más, aunque siendo honesta al principio pensé que iba a ser algo tedioso, que a lo mejor no iba a terminar, pero día a día me di cuenta de que es algo muy interesante y me gustó poder formar parte de esto. <i>(Participante 96)</i>	Debo reconocer que la actividad me motivó a ver qué otras acciones puedo realizar en el futuro para el beneficio de mi entorno. <i>(Participante 44)</i>	Me comprometo en lo posible a continuar con el reto, ya que no me gustaría ser parte del problema, sino de la solución. <i>(Participante 90)</i>

Fuente: Elaborada por la autora.

Acorde al gráfico de palabras que se muestra en la *figura 5*, los alumnos consideraron que la creación del ecoladrillo

fue una experiencia positiva y sensibilizadora, que los hizo repensar su autoconsumo.

Figura 5. Frecuencia de aparición de palabras en los diarios.



Fuente: Elaborada por la autora con la utilización de QDA Miner Lite®.

DISCUSIÓN

El propósito de realizar la actividad como reto se fundamenta en la teoría de Ajzen y Madden (1986), la cual establece que las personas pueden tener un comportamiento determinado por cuán fácil o difícil creen que es. Al principio los estudiantes en su mayoría ignoraban lo que era un ecoladrillo, pero lo consideraron interesante. Sin embargo, conforme pasó el tiempo resultó complicado separar, limpiar y recortar los residuos, además de subir los *diarios* al Blackboard® todos los días, pero no por eso dejaron de evaluar la experiencia como positiva y sensibilizadora. Se observó además un cambio de percepción del valor de los residuos en cuanto a su impacto en el ambiente y con ello se motivaron a querer reducir el autoconsumo, esto va ligado al planteamiento de Rokeach (1968) que establece que los valores tienen tres componentes: cognitivo, afectivo y conductual. Se puede decir que para

cambiar una conducta primero hay que cambiar el valor con el que las personas miran alguna problemática, objeto o acción. En este caso los alumnos con anterioridad conocían el problema de los residuos, sin embargo, se percataron de lo que ellos hacen de manera individual, lo cual origina una reestructuración de su sistema de valores que produce una intención de cambio, confirmando la teoría de Ajzen y Fishbein (1980) sobre la importancia de la intención en la conducta. Uno de los aspectos positivos de este reto es que no solo alfabetiza sobre los residuos sólidos y el consumo individual, sino que da una opción de interiorizar la problemática y aplicarla en la vida diaria. De acuerdo con Sauv e, citada por  lvarez y Vega (2009), la educación ambiental debe educar en tres saberes; saber-hacer, saber-ser y saber-actuar, este último debe proporcionar a los estudiantes una alfabetización que propicie una participación individual y colectiva en

favor del desarrollo sostenible. En este sentido el reto del ecoladrillo es una estrategia donde la acción solo depende de la decisión personal, empoderando a los alumnos para realizar un cambio, comenzando por ellos mismos. Es importante mencionar que el reto del ecoladrillo como estrategia pedagógica va acorde

con lo planteado por González y Meira (2020) sobre la educación ambiental, la cual no debe ser solo cognitiva, sino que tenga una respuesta emocional situada en contextos locales y preocupaciones cotidianas acompañándose de opciones claras de acción.

CONCLUSIONES

Con el reto del ecoladrillo se logró que los estudiantes analizaran sus patrones de consumo, permitiéndoles cuantificar su impacto personal en la generación de residuos. Otro punto importante fue la relación que establecieron entre la calidad de los productos comprados con el aporte negativo para su salud. Los alumnos evaluaron el reto como positivo y sensibilizador que los llevó a un cambio de percepción de autoconsumo y su responsabilidad sobre el ambiente, por lo que es necesario seguir trabajando la investigación-acción en el aula para encontrar estrategias que motiven a los jóvenes a una conducta proambiental que sea replicable en su vida personal y profesional a través del tiempo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abrahamse, W., Steg, L., Vlek, Ch. y Rothengatter, T. (2005). A review of intervention studies aimed at household energy conservation. *Journal of Environmental Psychology*, 25(3), 273-291. <https://doi.org/dzcvbq>
- Ajzen, I. y Madden, T. (1986). Prediction of goal-directed behavior: Attitudes, intentions, and perceived behavioral control. *Journal of experimental social Psychology*, 22(5), 453-474. <https://doi.org/b8nk8c>
- Ajzen, I. y Fishbein, M. (1980). *Understanding attitudes and predicting social behavior*. Prentice Hall.
- Al-Naqbi, A. K. y Alshannag, Q. (2018). The status of education for sustainable development and sustainability knowledge, attitudes, and behaviors of UAE University students. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 19(3), 566-588. <https://doi.org/gc6jwf>
- Álvarez, P. y Vega, P. (2009). Actitudes ambientales y conductas sostenibles: implicados para la educación ambiental. *Revista de Psicodidáctica*, 14(2), 245-260. <https://bit.ly/3Bt4kRH>

- Antico, F. C., Wiener, M. J., Araya-Letelier, G. y Gonzalez, R. (2017). Eco-bricks: a sustainable substitute for construction materials. *Revista de la construcción*, 16(3), 518-526. <https://bit.ly/2DSU3QO>
- Bravo, M. T. (2005). Enfoques educativos en el campo de la educación ambiental, a propósito de la incorporación de la 'dimensión ambiental' al curriculum universitario. En E. S. López-Hernández, M. T. Bravo y E. J. González (Coord.), *La profesionalización de los educadores ambientales hacia el desarrollo sustentable* (págs. 83-100). Asociación Nacional de Universidades e Instituciones de Educación Superior.
- Breckler, S. J. (1984). Empirical validation of affect, behavior, and cognition as distinct components of attitude. *Journal of Personality and Social Psychology*, 47(6), 1191-1205. <https://doi.org/bf46r8>
- Calixto, R. (2012). Investigación en educación ambiental. *Revista Mexicana de Investigación Educativa*, 17(55), 1019-1033. <https://bit.ly/3zPzmSK>
- Carrington, M., Neville, B. A. y Whitwell, G. J. (2014). Lost in translation: Exploring the ethical consumer intention–behavior gap. *Journal of Business Research*, 67(1), 2759–2767. <https://doi.org/gf8w7g>
- Corbetta, S. (2019). Educación y ambiente en la educación superior universitaria: itinerarios en clave de la perspectiva crítica latinoamericana. *Revista Educación*, 43(1), 546-574. <https://doi.org/h6z9>
- Creutzig, F., Roy, J., Lamb, W. F., Azevedo, I. M. L., Bruine, W., Dalkmann, H., Edelenbosch, O. Y., Geels, F. W., Grubler, A., Hepburn, C., Hertwich, E. G., Khosla, R., Mattauch, L., Minx, J. C., Ramakrishnan, A., Rao, N. D., Steinberger, J. K., Tavoni, M., Ürge-Vorsatz, D. y Weber, E. U. (2018). Towards demand-side solutions for mitigating climate change. *Nature Climate Change*, 8, 260-263. <https://doi.org/ggfzk9>
- Gifford, R. D. y Chen, A. K. S. (2017). Why aren't we taking action? Psychological barriers to climate-positive food choices. *Climatic change*, 140, 165-178. <https://doi.org/f9nsbv>
- Gifford, R. y Sussman, R. (2012). Environmental attitudes. In S. D. Clayton (Ed.), *The Oxford handbook of environmental and conservation psychology* (pp. 65–80). Oxford University Press. <https://doi.org/h5nq>
- Gola, B. (2017). Is formal environmental education friendly to nature? Environmental ethics in science textbooks for primary school pupils in Poland. *Ethics and Education*, 12(3), 320-336. <https://doi.org/h62s>

- Gonzalez, E. y Bonan, L. (2017). Saber no alcanza para actuar: revisión y reflexiones acerca de la relación entre el conocimiento y la adopción de conductas ambientales. *Ciência & Educação (Bauru)*, 23(2), 357-372. <https://doi.org/h632>
- González, E. J. y Meira, P. A. (2020). Educación para el cambio climático: ¿Educar sobre el clima o para el cambio? *Perfiles educativos*, 42(168), 157-174. <https://doi.org/h5n3>
- Hernández, B. e Hidalgo, M. C. (2000). Actitudes y creencias hacia el medio ambiente. En J. I. Aragonés y M. Américo (Ed.), *Psicología Ambiental* (págs. 309-330). Pirámide.
- Hoornweg, D. y Bhada-Tata, P. (2012). *What a waste: A global review of solid waste management*. The World Bank. <https://bit.ly/3B10oaA>
- Martínez, M. (1999). *La investigación cualitativa etnográfica en educación. Manual teórico-práctico*. Trillas. <https://bit.ly/3bukyPR>
- Moser, S. C. (2010). Communicating climate change: history, challenges, process and future directions. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 1(1), 31-53. <https://doi.org/ftwt3r>
- Mrazek, R. (1996). *Paradigmas alternativos de investigación en educación ambiental*. Universidad de Guadalajara.
- Raynaud, J. (2014). El valor del plástico: Estudio de viabilidad para medir, gestionar el plástico usado en la industria de bienes de consumo y divulgar información sobre él. Programa del Medio Ambiente de las Naciones Unidas. <https://bit.ly/3OktcOw>
- Rokeach, M. (1968). A theory of organization and change within value-attitude systems. *Journal of Social Issues*, 24(1), 13-33. <https://doi.org/fpqc4v>
- Sauvé, L. (2005). Uma cartografia das corrientes em educação ambiental. En M. Sato e I. Carvalho (Coord.), *Educação ambiental - Pesquisa e desafios* (págs. 17-46). Artmed. <https://bit.ly/3vCx4Ux>
- Stern, P. (2000). Toward a coherent theory of environmentally significant behavior. *Journal of Social Issues*, 56(3), 407-424. <https://bit.ly/3vYqbgz>
- Taaffe, J., O'Sullivan, S., Rahman, M. E. y Pakrashi, V. (2014). Experimental characterisation of Polyethylene Terephthalate (PET) bottle Eco-bricks. *Materials & Design*, 60, 50-56. <https://doi.org/f55ffm>
- Valero, N. (2007). Sistematización de la educación ambiental: teoría y práctica como fusión metodológica. *Educere*, 11(37), 315-325. <https://bit.ly/3PUFoqL>



Estudio de conocimientos tradicionales sobre biodiversidad e indicadores climáticos de comunidades mapuches en Chile

Study of traditional knowledge on biodiversity and climatic indicators of mapuche communities in Chile

Estudo do conhecimento tradicional sobre biodiversidade e indicadores climáticos das comunidades mapuche no Chile

Jorge Retamal Rubio / Fondo Verde, Perú - Universidad Centro Panamericano de Estudios Superiores, México / joretamal@gmail.com

Juan Felipe Silva Armas / Fondo Verde, Perú / juansilvaarmas@gmail.com

Recibido: 20/1/2022

Aceptado: 15/3/2022

Publicado: 30/3/2022

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue analizar los conocimientos tradicionales que en la actualidad aplican las comunidades Mapuches de Chile en sus actividades productivas, ambientales y de organización sociocultural; identificando aquellos que puedan aportar a las medidas de adaptación y mitigación al cambio climático, reflejadas en la actualización de la contribución nacional determinada. Se trabajó con 16 comunidades que pertenecen a territorios distintos dentro de la región de la Araucanía en Chile. En el estudio se tuvieron en cuenta cuatro identidades territoriales del pueblo Mapuche: Lafkenche, Pehuenche, Nagche y Wenteche. La metodología empleada se basa en el análisis de los contenidos para proceder a la clasificación de los conocimientos y los distintos conceptos en categorías y subcategorías. La obtención de los datos se realizó a través de una metodología desarrollada con un enfoque intercultural, con base a las entrevistas y cuestionarios aplicados en diferentes etapas. Como resultado se obtuvo un conjunto de indicadores utilizados por las comunidades Mapuches, clasificados en: biológicos, atmosféricos, astronómicos y culturales; un inventario de conocimientos tradicionales y un modelo de articulación intercultural de los conocimientos tradicionales y científicos. A modo de conclusión se pudo evidenciar que las personas Mapuches, que hablan su lengua, poseen valiosos conocimientos tradicionales para la adaptación y mitigación al cambio climático.

Palabras clave: cambio climático, interculturalidad, pueblos indígenas

ABSTRACT

The objective of this study was to analyze the traditional knowledge currently applied by the Mapuche communities of Chile in their productive, environmental, and sociocultural organization activities; identifying those that can contribute to climate change adaptation and mitigation measures, reflected in the updating of the determined national contribution. We worked with 16 communities that belong to different territories within the Araucanía region in Chile. Four territorial identities of the Mapuche people were taken into account in the study: Lafkenche, Pehuenche, Nagche and Wenteche. The methodology used is based on the analysis of the contents to proceed to the classification of the knowledge and the different concepts in categories and subcategories. The data was obtained through a methodology developed with an intercultural approach, based on interviews and questionnaires applied at different stages. As a result, a set of indicators used by the Mapuche communities was obtained, classified as: biological, atmospheric, astronomical, and cultural; an inventory of traditional knowledge and a model of intercultural articulation of traditional and scientific knowledge. In conclusion, it was possible to show that the Mapuche people, who speak their language, have valuable traditional knowledge for adaptation and mitigation to climate change.

Keywords: climate change, interculturality, indigenous people

RESUMO

O objetivo deste estudo foi analisar o conhecimento tradicional atualmente aplicado pelas comunidades Mapuche do Chile em suas atividades produtivas, ambientais e de organização sociocultural; identificação daqueles que podem contribuir para as medidas de adaptação e mitigação das alterações climáticas, refletidas na atualização da determinada contribuição nacional. Trabalhamos com 16 comunidades pertencentes a diferentes territórios da região da Araucanía no Chile. Quatro identidades territoriais do povo Mapuche foram consideradas no estudo: Lafkenche, Pehuenche, Nagche e Wenteche. A metodologia utilizada baseia-se na análise dos conteúdos para proceder à classificação dos conhecimentos e dos diferentes conceitos em categorias e subcategorias. Os dados foram obtidos através de uma metodologia desenvolvida com abordagem intercultural, baseada em entrevistas e questionários aplicados em diferentes etapas. Como resultado, obteve-se um conjunto de indicadores utilizados pelas comunidades Mapuche, classificados em: biológicos, atmosféricos, astronômicos e culturais; um inventário dos saberes tradicionais e um modelo de articulação intercultural dos saberes tradicionais e científicos. Em conclusão, foi possível mostrar que o povo Mapuche, que fala sua língua, possui valiosos conhecimentos tradicionais para adaptação e mitigação às mudanças climáticas.

Palavras chave: interculturalidade, mudança climática, povos indígenas

INTRODUCCIÓN

Según la Organización Internacional del Trabajo (2019) en el planeta viven alrededor de 476.6 millones de personas indígenas, de las cuales 238.4 millones son mujeres y 238.2 son hombres. Los pueblos indígenas representan alrededor del 6.2% de la población mundial. Por su parte en Chile, de acuerdo con el Instituto Nacional de Estadísticas (2017), existen 2 185 792 de personas indígenas, 12.8% de la población total. El 80% de la población indígena pertenece al pueblo Mapuche. Dicho pueblo indígena es uno de los más nombrado en el país, tanto por su peso social y demográfico como por su fuerte sentido de identidad cultural, que ha encontrado históricamente formas de resistencia y de adaptación con españoles y chilenos. Desde el punto de vista económico las comunidades Mapuches se encuentran vulnerables.

Según la Organización de las Naciones Unidas (2020) el cambio climático constituye una amenaza y un peligro para la supervivencia de los pueblos indígenas en todo el mundo, pese a que estos contribuyen muy poco a las emisiones de gases efecto invernadero. De hecho, los pueblos indígenas son esenciales para los numerosos ecosistemas presentes en sus territorios y de los cuales forman parte activa; por lo que podrían ayudar a mejorar su resiliencia. Además, los pueblos indígenas interpretan los efectos del cambio climático y reaccionan ante ellos de manera creativa, aprovechando los conocimientos tradicionales y otras técnicas para encontrar soluciones que puedan ayudar a

la sociedad en su conjunto a hacer frente a los cambios inminentes.

En el caso de Chile, y en particular de los pueblos indígenas, si bien existe voluntad por parte de las autoridades de incorporar los conocimientos tradicionales de las comunidades indígenas, como se declara en la actualización de la contribución determinada nacional (NDC, por sus siglas en inglés); también se señala que se incluirá en la toma de decisiones “cuando estén disponibles” (Ministerio del Medio Ambiente, 2020). Aquí surge el ¿qué? de esta investigación, *conocimientos tradicionales de los pueblos indígenas* y el ¿por qué? *la necesidad de hacer disponibles los conocimientos tradicionales*.

Existen valores que fundamentan la importancia del conocimiento tradicional para la adaptación al cambio climático. El conocimiento tradicional es el producto de una aproximación empírica-histórica al entorno y la naturaleza por parte del ser humano. El hombre a través de muchas generaciones ha interactuado y experimentado con la naturaleza y con los recursos que se encuentran dentro de su entorno directo. El conocimiento tradicional recoge los resultados de estos experimentos y, por ende, demuestra también las constantes respuestas de las poblaciones locales a los cambios en ese entorno. Este conocimiento se basa en la participación y apropiación local de las poblaciones locales sobre la naturaleza, sus fenómenos y sus cambios; más aún, de lo que es y no es factible realizar en el entorno. Pero, sobre todo, de cómo aprovechar adecuada, sostenible y eficientemente sus

recursos naturales. Teniendo en cuenta que los conocimientos tradicionales son transferidos de generación en generación y son parte de la sabiduría local, la inclusión de estos en cualquier estrategia de adaptación al cambio climático permitirá la participación de las poblaciones locales en dichas estrategias y fomentará la apropiación local de las mismas. Además, las estrategias que se desarrollen serán más eficientes, acrecentando su viabilidad y sostenibilidad en el tiempo (Lara y Vides-Almonacid, 2014).

Los pueblos indígenas son grandes observadores de los cambios ambientales, por lo que pueden ser aliados y ayudar a entender el cambio climático a escala local (Huntington, 2019). Fenómenos como el cambio climático, la sobreexplotación de los recursos y la pérdida de biodiversidad, tienen su origen profundo en una relación turbada entre el ser humano y la naturaleza, mediada por un sistema económico que no considera los límites del planeta, sino que postula un crecimiento incesante e ilimitado. Además, muchas veces este uso excesivo de los recursos naturales genera conflictos territoriales. Según Van Gastel (2018), se puede hallar un cambio necesario de mirada si se comprende la cosmovisión de los pueblos indígenas que presentan a la naturaleza no solo como un recurso económico a ser explotado, sino como una gran reserva espiritual que al ser protegida entrega alimentos y otros beneficios cruciales para la sobrevivencia y salud mental de la especie humana.

Es por ello esta investigación pretende entender la cosmovisión de un pueblo indígena

de Chile, el pueblo Mapuche, para generar un cambio en la sociedad, en especial la científica. Si bien generalmente los pueblos indígenas se les presentan como vulnerables y víctimas de la pobreza debido al cambio climático, también corresponde destacar su sensibilidad hacia el ambiente y su capacidad de adaptación y resiliencia (Campanario, 2019), características que se ponen de relieve en su aptitud para modificar conductas en respuesta a los cambios que sufre el clima. El conocimiento tradicional comprende un conjunto de saberes, prácticas, usos, costumbres, informaciones y formas de vida que determinan la existencia de un pueblo dentro de su propio universo, dentro de su propia cosmovisión; es decir, el conocimiento tradicional constituye para una comunidad uno de los rasgos más característicos de su identidad.

La investigación evidenció que el conocimiento tradicional se caracteriza por: dimensión práctica, arraigo territorial, carácter colectivo, linaje u origen histórico, dinamismo intergeneracional, valor económico y socioambiental, carácter oral lingüístico, matriz cultural y expresión de un derecho colectivo que ubica este tipo de conocimiento dentro del marco de los derechos colectivos de las comunidades y pueblos indígenas (Valladares y Olivé, 2015).

Investigar conocimientos ancestrales del pueblo Mapuche transmitidos por generaciones de forma oral, resultó un gran desafío para aportar a la comunidad científica, desde la generación de conocimientos, lo que permitió mejorar el entendimiento e incen-

tivar la colaboración entre investigadores y sabios indígenas, guardianes de los conocimientos tradicionales. A su vez la investigación aportó conocimientos que podrán mejorar el respeto, valoración y diálogo con los pueblos indígenas. El diálogo es un proceso que permite trabajar en la confianza, espacios de colaboración y finalmente en soluciones sostenibles con el fin de disminuir los conflictos en estos territorios. En las zonas donde habita el pueblo Mapuche estos conflictos son de origen histórico, político, cultural y socioeconómico. Dicha investigación será un aporte a la comprensión, respeto y valoración por los aspectos culturales y la cosmovisión, lo que permitirá una nueva y mejor forma de relacionarse entre las personas indígenas y no indígenas.

Las preguntas de investigación fueron: ¿Cómo acceder al conocimiento tradicional de los pueblos indígenas si ese conocimiento no se encuentra escrito? ¿Cómo los pueblos indígenas están respondiendo a los cambios climáticos que ellos perciben? ¿El cambio climático está afectando la seguridad alimentaria de las comunidades indígenas? ¿Cómo pueden los conocimientos tradicionales indígenas ayudar a recuperar parte de la biodiversidad perdida? ¿Cómo los conocimientos tradicionales de los pueblos indígenas pueden aportar a cumplir la *contribución determinada nacional* referida a adaptación y mitigación al cambio climático? ¿Qué indicadores climáticos conocen y aplican las personas de los pueblos indígenas en sus actividades cotidianas?

La hipótesis de la investigación pretendió demostrar que las personas indígenas hablantes de lengua *Mapuzugün* (lengua del pueblo Mapuche) pertenecientes a comunidades del sur de Chile, poseen conocimientos tradicionales sobre indicadores climáticos naturales que se transmitieron de forma oral de generación en generación, respetando su cosmovisión en un contexto social, cultural y ambiental. El objetivo de esta investigación fue: analizar los conocimientos tradicionales de los pueblos indígenas en Chile que puedan ser rescatados o que actualmente apliquen en sus actividades productivas, ambientales y de organización sociocultural, identificando aquellos que puedan aportar a las medidas de adaptación y mitigación al cambio climático, reflejadas en la contribución determinada nacional del país. Dentro de los objetivos específicos se encuentran: identificar los conocimientos tradicionales sobre indicadores climáticos que poseen los indígenas en Chile, facilitar a los científicos el acceso a los conocimientos tradicionales Mapuches sobre el clima y los cambios climáticos a través del diseño de un modelo de articulación.

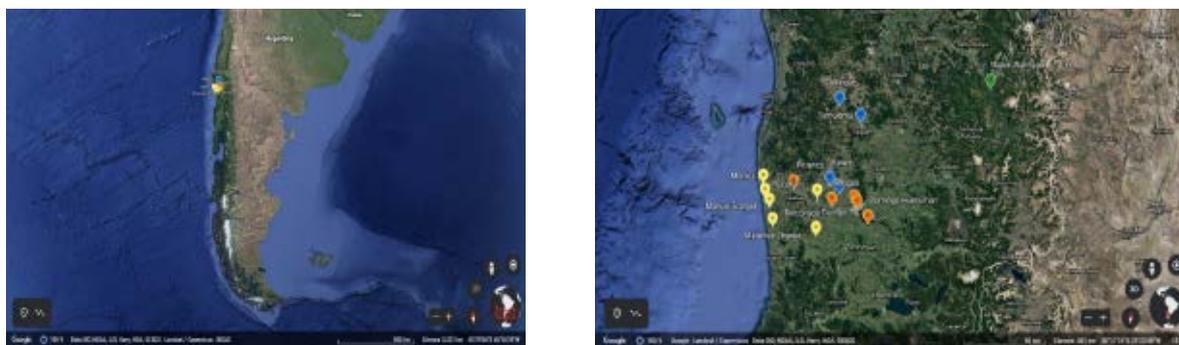
MATERIALES Y MÉTODOS

Esta investigación sobre conocimientos tradicionales del pueblo Mapuche en Chile fue exploratoria y de tipo cualitativa. La investigación se realizó en la región de la Araucanía al sur de Chile. El área escogida se debió a la alta presencia de personas Mapuches que conservan su identidad cultural; siendo seleccionadas comunida-

des de las cuatro identidades territoriales del pueblo Mapuche con el fin de que todas estuvieran representadas en la investigación, desde el mar hasta la cordillera; estas son: *Lafkenche*, *Nagche*, *Wenteche* y *Pewenche*. Para la recolección de los datos se hicieron entrevistas a sabios y autoridades tradicionales del pueblo Mapuche, como *Lonko* (jefe del territorio), *Machi* (personas dedicadas a la medicina ancestral, también lideran importantes ceremonias culturales y religiosas) y *kimche* o guardianes de conocimiento ancestral. La muestra estadística corresponde al 0.5% del total de comunidades Mapuches. La ubicación de las 16 comunidades se puede ver en la *figura 1*, en amarillo son *Lafkenche*, en azul las comunidades *Nagche*, en

verde *Pehuenche* y en naranja *Wenteche*. Antes de comenzar la investigación se contactó a las comunidades y se les explicó el alcance y objetivos de la investigación, solicitando que las personas entrevistadas fueran hablantes de *mapuzugün* (idioma del pueblo Mapuche), aspecto fundamental para la comprobación de la hipótesis de este estudio. La transmisión intergeneracional y su carácter oral lingüístico son características de los conocimientos tradicionales. Se utilizó como protocolo el consentimiento libre, previo e informado, cuya evidencia fue una carta de aceptación firmada por todos los entrevistados para participar de la investigación y autorizar que los resultados de esta investigación se hagan públicos.

Figura 1. Ubicación geográfica de los entrevistados



Fuente: Elaboración propia con imágenes de Google Earth.

Como parte de la investigación se diseñó una metodología con enfoque intercultural (*figura 2*), compuesta por entrevistas y la aplicación de cuestionarios para la obtención de los datos por etapas. Además, se incorporaron elementos interculturales de la investigación de Huntington (2019) con los pueblos indígenas de Alaska. Se

definieron estrategias para superar las distancias que separan ambos paradigmas y las resistencias, principalmente provenientes de la ciencia moderna. La metodología empleada fue fundamental para lograr los objetivos; en particular el método empleado con un enfoque intercultural se basó en el respeto, valoración y enten-

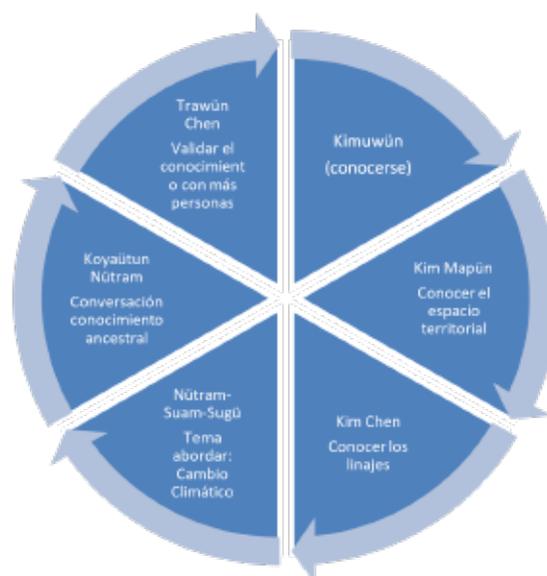
dimiento profundo de la cosmovisión Mapuche, incluida la estrecha relación de los Mapuches con la naturaleza y la comprensión de un tiempo sin apuros que prioriza primero el conocer a las personas y sus familias, los espacios ecológicos culturales de su entorno y su origen-linaje. El conocerse previamente generó espacios de confianza, que llevaron a los Mapuche a colaborar, para luego entrar en la materia en cuestión del estudio, como eran el cambio climático y los conocimientos tradicionales.

Las seis etapas de la metodología permitieron realizar las conversaciones, entrevistas a sabios y autoridades tradicionales, y aplicar los distintos cuestionarios por cada etapa. Se contó con la ayuda de un facilitador intercultural hablante de *Mapuzugün*. A continuación, la descripción de cada etapa:

- *Kimuwün*: el investigador y la comunidad se conocieron.

- *Kim Mapün*: kimche (sabio Mapuche) presentó los espacios territoriales-culturales-ecológicos y espirituales al investigador.
- *Kim Chen*: dio a conocer los linajes -apellidos y su relación con los espacios territoriales al investigador.
- *Nütram-Suam-Sugü*: el investigador y la comunidad abordaron el cambio climático y los indicadores naturales asociados al clima.
- *Koyaütun Nütram*: espacio de conversación completamente en Mapuzugün, abierto a abordar otros temas no sólo de cambio climático o los temas vistos en la etapa anterior, el investigador contó con la ayuda de un facilitador-traductor, para conversar sobre conocimientos tradicionales.
- *Trawün Chen*: espacio de conversación con más personas para validar los conocimientos adquiridos.

Figura 2. Metodología de entrevistas en etapas



Fuente: Elaboración propia

En términos metodológicos, *a priori* se conocían los temas a investigar, pero de acuerdo con las conversaciones, entrevistas, reuniones y relatos de las personas, que fueron testimonios, creencias, recuerdos, prácticas, conocimientos, se comprobaron las categorías y subcategorías revisadas en el marco teórico. También se identificaron otras categorías que dan cuenta de la nueva y valiosa información recibida. Las categorías y subcategorías de este estudio son el reflejo íntegro de los testimonios de los custodios de saberes ancestrales Mapuches entrevistados. La selección de variables como la frecuencia del hablar *Mapuzugün* y el nivel de conocimientos tradicionales permitió verificar de forma concreta y práctica lo planteado en la hipótesis.

Este trabajo de investigación se realizó durante los años 2020 y 2021, en plena pandemia por coronavirus, en la región de la Araucanía en el sur de Chile. Todo lo anterior dificultó las reuniones, visitas a terreno, comunidades indígenas y la planificación inicial. A pesar de esto, se cumplieron los objetivos inicialmente planteados para este estudio.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la *figura 4* se muestran las características referidas a género, edad y nivel de instrucción de los entrevistados. Esta última característica se clasificó de acuerdo con el sistema de educación formal en Chile: básica (ocho años), media (cuatro años) y superior. El 100% de las personas entrevistadas son

hablantes de la lengua Mapuche. El 87.5% respondió que habla en forma diaria su lengua. Un 44% de los entrevistados cree que su lengua está en una situación vulnerable y un 31% en peligro. Los entrevistados forman parte de 16 comunidades Mapuches. En total, esas comunidades, están formadas por 1429 personas, de las cuales 747 hablan la lengua Mapuche. Esta cifra de hablantes es alta debido a la influencia de autoridades tradicionales y sabios dentro de estas comunidades que practican con frecuencia el uso de su lengua indígena.

Se compararon para este estudio dos variables: frecuencia de hablar *Mapuzugün* y el nivel de conocimientos tradicionales de los entrevistados. A la frecuencia con la que hablan *Mapuzugün* se le asignó un valor entre 0 y 1, donde 0 es baja y 1 alta frecuencia. Al nivel de conocimientos tradicionales se le asignó un valor entre 1 y 10. Diez significa alto nivel de conocimientos tradicionales, incluidos el uso de plantas para medicina tradicional. Los valores y resultados del *coeficiente de correlación de Pearson* entre las dos variables, se puede observar en la *tabla 1*. El valor obtenido para este coeficiente fue de 0.904 entre las dos variables, lo que significa una correlación positiva muy alta entre las personas que hablan frecuentemente la lengua indígena y el nivel de conocimientos tradicionales. Comprobándose que los hablantes de lengua indígena poseen conocimientos tradicionales, corroborando la hipótesis de la investigación.

Figura 4. Características de sabios Mapuches entrevistados

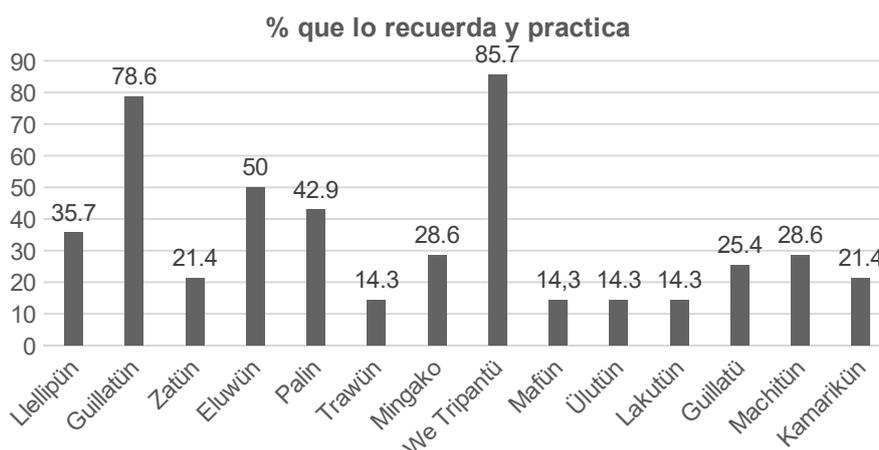


Fuente: Elaboración propia

Parte de los conocimientos tradicionales y los asociados al clima se enseñan y transmiten en las ceremonias culturales. Los entrevistados respondieron que la ceremonia más practicada fue el *we tripantü* (cambio de ciclo o año nuevo Mapuche, también nombrado como *wiñoy tripantü*), un 85.7% respondió que se celebra en su comunidad. La segunda ceremonia fue el *guillatün* (ro-

gativa de agradecimiento y petición) con un 78.6%, luego con un 50% el *eluwün* (funeral Mapuche) y el *palin* (juego tradicional) con un 42.9% de las personas Mapuches que respondieron que aún se practica. En la figura 5 se pueden apreciar las ceremonias más practicadas en las comunidades Mapuches de los entrevistados.

Figura 5. Ceremonias Mapuches que en la actualidad se practican



Fuente: Elaboración propia

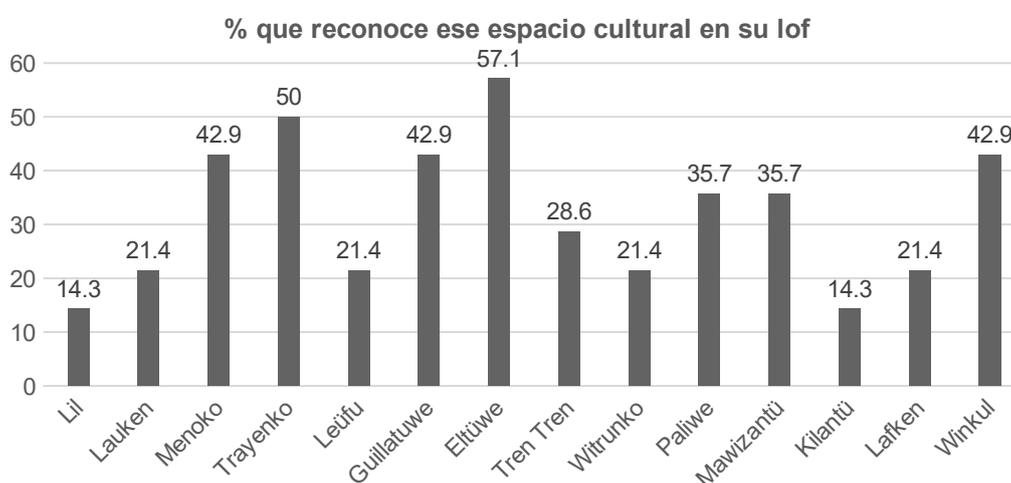
Los espacios culturales-ecológicos-espirituales son sagrados para las comunidades Mapuches y conocerlos fue fundamental para la comprensión de la relación del pue-

blo Mapuche con su entorno y su relación con la naturaleza, incluidos los aspectos climáticos. Todos los entrevistados mencionaron que los espacios culturales tienen

dueños llamados *ngen*, que son energías o espíritus. Indican que se les debe respeto y pedir permiso cada vez que uno se acerque o quiera obtener un fruto, agua, hierbas medicinales o cualquier cosa que esté en ese espacio. Los lugares más frecuentes que reconocen, que están presentes en sus territorios (*lof*) fueron: el *eltüwe* (cementerio) con un 57.1% de las personas entrevistadas, el

trayenko (lugar pedregoso donde se producen sonidos del agua) con un 50% y el *Guillatuwe*, lugar donde se realiza la ceremonia del *Guillatün* con un 42.9%. En la *figura 6* se muestran los 14 espacios ecológicos-culturales más presentes en los territorios de las comunidades indígenas donde se desarrolló la investigación.

Figura 6. Espacios ecológicos-culturales del pueblo Mapuche



Fuente: Elaboración propia

En la *tabla 1* se hace una descripción del uso de los espacios culturales-ecológicos-espirituales reconocidos por los en-

tervistados que están presentes en los territorios donde viven sus comunidades.

Tabla 1. Espacios culturales más reconocidos

Espacio cultural (Mapuzugün)	Espacio cultural (español)	Uso
<i>Lil</i>	Quebrada	Hierbas medicinales, producción de agua
<i>Lauken</i>	Lago y laguna	Agua, hierbas alimenticias, alimentos
<i>Menoko</i>	Donde nace el agua, humedal con mucha biodiversidad	Agua, hierbas medicinales
<i>Trayenko</i>	Lugar pedregoso donde se producen sonidos del agua. Saltos de agua	Agua, hierbas medicinales, rituales
<i>Leüfu</i>	Río	Agua, alimentos, recreacional
<i>Guillatuwe</i>	Lugar donde se hace el <i>Guillatün</i>	Ceremonial
<i>Eltüwe</i>	Cementerio	Ceremonial
<i>Tren Tren</i>	Cerro Sagrado	Agua, hierbas medicinales, alimentos. Zona de seguridad para tsunami e inundaciones

<i>Witrunko</i>	Estero	Agua
<i>Paliwe</i>	Lugar donde se juega palin	Deporte
<i>Mawizantü</i>	Montaña con árboles nativos	Hierbas medicinales, frutos
<i>Kilantü</i>	Bosque de quila	Alimentos
<i>Lafken</i>	Mar	Alimentos, recreacional
<i>Winkul</i>	Cerro	Hierbas medicinales, alimentos

Fuente: Elaboración propia

En la tercera etapa de la metodología denominada *Kim Chen*, se identificaron los apellidos y los linajes; esto fue vital para entender la relación de las personas con su entorno y su conexión con sus antepasados. Constituye un conocimiento ancestral muy valorado y así se evidenció con la unanimidad de los entrevistados. Los apellidos están relacionados con la biodiversidad observada en el entorno, característica que es fundamental para entender la cosmovisión del pueblo Mapuche. Cobra importancia el entendimiento del concepto Mapuche *Itrofilmogen* (biodiversidad) y su relación con el linaje-origen-apellidos. El 100% de las personas Mapuches entrevistadas en este estudio conocían exactamente el origen de sus apellidos y su línea de antepasados. Se pudo comprobar que este conocimiento tiene sentido para el pueblo Mapuche, lo conservan, los enorgullece, es parte de su historia. También es importante para entender su relación integral con la naturaleza y sus ancestros. Al conocer los apellidos se puede encontrar parte de la naturaleza y biodiversidad que observan u observaron los Mapuche. Este último punto es relevante porque se podrían hacer

nuevas investigaciones que analicen los apellidos y estudie la biodiversidad que ya no está presente en los territorios indígenas.

En la cuarta etapa, denominada *Nütram Suam Sugü*, se abordaron los temas relacionados con indicadores naturales del clima y cambio climático. En esta etapa se utilizó un facilitador intercultural que hablaba *mapuzugün*. Primero hablaban en su lengua del tema, el concepto, indicador, conocimiento tradicional y luego venía la explicación y traducción al español. El 93% de los conocimientos tradicionales e indicadores asociados al clima mencionados por los entrevistados lo aprendieron directo de sus antepasados en lengua Mapuche. El 100% de las personas entrevistadas habían escuchado del cambio climático. Las respuestas respecto a con qué relaciona el cambio climático fueron: lo relaciono con dos cosas, *aumento de la temperatura y falta de agua*; con una *enfermedad de la tierra*; la tierra está afiebrada; con una enfermedad que ya está con pocas posibilidades de sanar; debemos trabajar en modo abeja, todos trabajando para un mismo fin; es peor que el Covid – pandemia actual – es mucho más grave que

lo que la gente dimensiona; hay mucho discurso político y poca ejecución; es un desorden de los tiempos, los inviernos son diferentes llueve menos y los veranos son más calurosos; los humanos somos responsables de destruir los que es natural de la tierra; cuando era niño yo cruzaba la cordillera de la costa y veía ulmo florecido, olivillo, árboles dando *diweñe* (fruto del hualle o roble), *fünkulon* (fruto del maqui), *kozkillarayen* (copihue florecido), *Kowül* (fruto del Coigüe); si no lo hicimos madera, lo destruimos con el fuego, no hay un ser más dañino que el hombre; de puro gusto matamos las aves; y deforestamos el sur, destruimos los cerros.

Otras respuestas dadas fueron: lo relaciono con la falta de respeto a los *ngen*; diferentes ecosistemas se han destruido; a menudo, los machi han dicho el Mapuche se ha sumado a la destrucción del bosque nativo; arrasaron con los bosques para abastecer con leña a Temuco (ciudad capital de la región de la Araucanía); lamentablemente, mi abuelo hizo eso; se relaciona con un desequilibrio, porque han existido muchas trasgresiones; falta de respeto a la naturaleza y este desequilibrio se ha hecho notar; es una situación reiterada que ha vivido la tierra, el cosmos tiene distintas manifestaciones, con mayor sequía e intensidad de lluvia; derecho romano se redactó en plena época de cambio climático, establece las crecidas de los ríos, desprendi-

miento de los cerros; lo relaciono con la intervención del hombre y el desarrollo de tecnologías no amigables con el medio ambiente; lo relaciono con la economía de la devastación; pienso que la tierra se autorregula por sí sola, los tiempos eran más extensos para esa autorregulación; hoy aceleramos, con el uso de combustibles, impactos que repercuten sobre ese espacio intermedio (viento, nubes, trueno, relámpago, fuerzas); cuando esas fuerzas se alteran, se reprimen en las altas montañas; toda esa energía se ha replegado a las grandes montañas; la iluminación y contaminación aumentan esas energías; la Red 5G, por ejemplo, intervienen el *ragin wenu mapu* (dimensión espacial del pueblo Mapuche), va a afectar a los insectos y a todos los animales menores; y hay una alerta, están interviniendo espacios vitales.

Al los Mapuche nos dejaron la tierra para cuidarla, somos sus custodios. Se está luchando contra las centrales hidroeléctricas de paso, por las carreteras, pero no por la red 5G, las antenas repetidoras traerán impacto; lo relaciono con la pérdida y eliminación del bosque nativo; estaban ignorantes de la vida natural, no había límites; sin control se quemó el bosque; el Mapuche era cuidadoso, pero por temor a que no le quitaran sus tierras, en el proceso de colonización, quemaron bosques; así se quedaban con las tierras: quemas, destroncas, siembras y te adueñas del bosque; a mi papá y mi

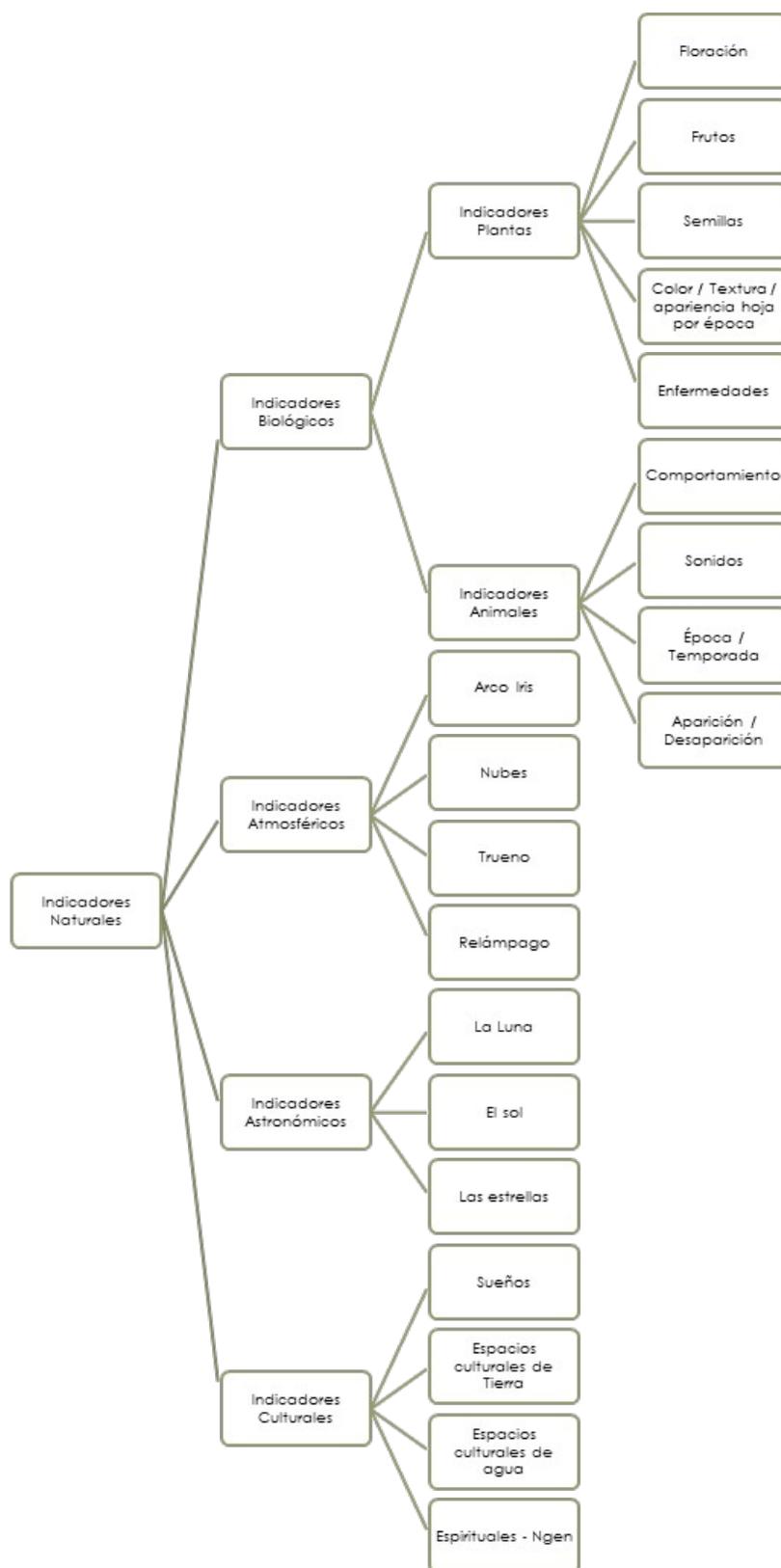
abuelo les tocó vivir eso; cosas que están pasando, ya no está como antes, ahora no nos podemos visitar, todo es por celular; la naturaleza ya no está como antes, mucho *lawen* (remedios naturales) se han perdido; ya no hay respeto con la naturaleza; mucho *newen* (energía) no se respeta; la machi se siente mal, nos tienen como amarrados: me dicen *ñaña*, estamos mal, como machi debo pedir permiso para ir a buscar remedios; nosotros no sabemos cuidar la naturaleza, el hombre de mucho estudio no dimensiona cuánto vale naturaleza; el hombre ha destruido el bosque nativo de los cerros, van quitando fuerza a la naturaleza, hay un desequilibrio; los seres humanos hemos perjudicado la tierra; los hombres quieren superar a *Günechen* (Dios); hay un desequilibrio en la naturaleza; lo relaciono con el comportamiento errado de los seres humanos; estamos viviendo una tercera guerra mundial; en la cuarta volvería el paraíso, lleno de árboles nativos; lo relaciono con la mano del hombre, la humanidad no ha sabido cuidar el planeta; hay un desequilibrio; las aguas están más turbias; hay menos nieve, falta el agua; y son más altas las temperaturas.

En cada respuesta se encontró una reflexión profunda de la situación de lo que está ocurriendo en la naturaleza, producto de su observación y relación diaria. La naturaleza les habla en cada elemento y así se comprobó a lo largo

de la investigación. El punto culminante de este estudio fue la identificación de los indicadores naturales asociados al clima y al cambio climático, que fueron obtenidos del análisis de datos por contenido y la inclusión de premisas realizadas después de las conversaciones y entrevistas. Se utilizaron y se incorporaron como criterios para hacer deducciones de palabras que se transformaron en indicadores, premisas del pueblo Mapuche como la espiritualidad entendida como la capacidad de percibir energías, la reciprocidad y que todos los elementos de la naturaleza incluido el hombre, tienen la misma importancia y respeto.

Bajo estos criterios, sumado el uso práctico y la evidencia de la razonabilidad de lo observado en algunos casos algunos indicadores fueron obtenidos de derivaciones bajo criterios, por ejemplo, de enfermedad de las plantas o desaparición de animales. Se observó en forma concreta que poseen conocimientos muy profundos de las farmacias naturales, hierbas medicinales y su relación con cada uno de los elementos del universo, en forma integral, sinérgica y armónica. Con el análisis de datos y todos los elementos descritos anteriormente se clasificaron indicadores naturales del pueblo Mapuche en biológicos, atmosféricos, astronómicos y culturales. El esquema de indicadores naturales con sus categorías y subcategorías se puede ver en *figura 7*.

Figura 7. Indicadores naturales asociados al clima identificados por las comunidades Mapuches



Fuente: Elaboración propia

De las largas conversaciones, entrevistas, análisis de datos, sumada la etapa 5 de entrevistas por otros conocimientos tradicionales y la realización de la etapa 6 sobre validación del conocimiento con más personas de la comunidad, se propuso en este estudio, incorporar la dimensión cultural en la clasificación de indicadores naturales. No se puede ignorar lo cultural en el análisis de los desafíos del cambio climático, conclusión de la última etapa del diálogo con los Mapuches; no es correcto dejar que siga siendo invisible o que las demás categorías hegemonizan el conocimiento. El valor de los sueños es para el pueblo Mapuche un indicador relevante que les permite anticiparse a los hechos para las cosas de la vida, incluido el clima y sus cambios.

Los Mapuches entrevistados en la etapa 6 reconocieron, después de realizado el análisis de datos de la etapa 4, que son parte de sus conocimientos tradicionales y que siguen practicando. También han estado de acuerdo en que es importante que sean incorporados estos conocimientos a los planes de mitigación y adaptación al cambio climático de la contribución determinada nacional.

Los siguientes indicadores biológicos de la categoría plantas: la caída, los colores, la textura y el brillo de las hojas; la firmeza de la corteza de las plantas; la sabia de la corteza; los brotes; la floración; el aroma; el fruto, color, jugo y sabor del fruto; el tamaño, crecimiento y capacidad de germinación de las semillas, co-

lores de los brotes, periodo de floración, sabores de los frutos y sabores de los jugos. Las enfermedades de las plantas como pequeños orificios en hojas y color café de las hojas. Los indicadores anteriores son efectos del clima provocados por la falta de agua, sequías, inestabilidad de las estaciones, lluvias en épocas distintas del año, temperaturas extremas, radiación, falta de humedad.

Los indicadores climáticos naturales del tipo biológico para la categoría animales fueron: sonidos, comportamiento, época-temporada y aparición-desaparición. Se destacan los sonidos de los pájaros dentro de estos indicadores, como sus cantos como señal de aviso a cambios en el tiempo. Lo mismo ocurre con el comportamiento de los animales, ejemplo de ello, es lo que ocurre con los caballos cuando hacen *kaupu-kaupu* (rasguño de la tierra), advirtiendo la falta de agua.

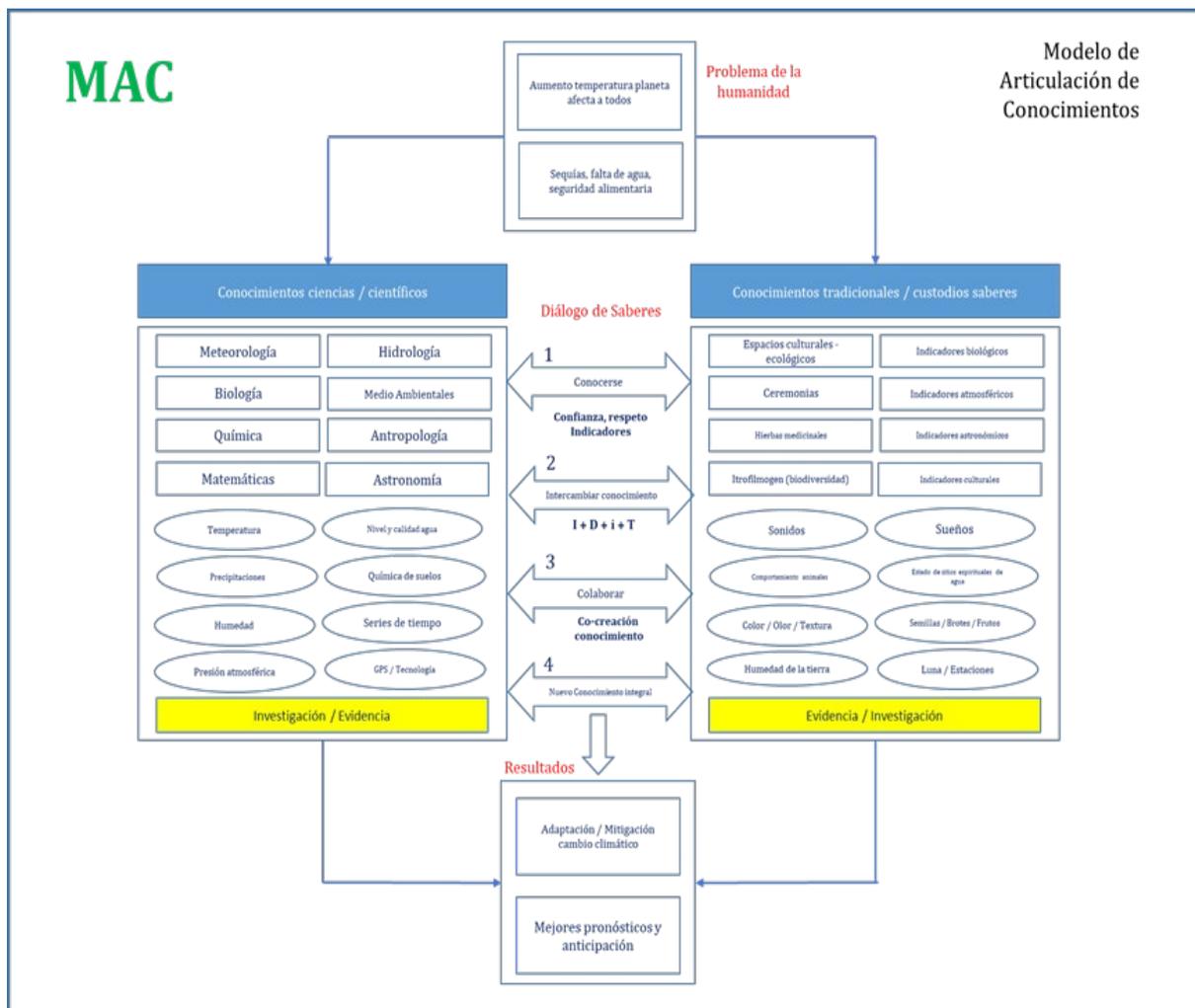
Los indicadores climáticos naturales del tipo atmosféricos fueron: el significado del arco iris, el trueno, relámpago, las nubes y el viento. Las nubes por su forma y color y el viento por su orientación. Por su parte los indicadores climáticos naturales del tipo astronómico son: los tipos de luna, los rayos del sol y las estrellas. Mientras que dentro de los indicadores del tipo cultural, se destacan los sueños, los espacios ecológicos-culturales y su relación espiritual con los dueños o *ngen*, que marcan y anticipan fenómenos naturales.

Al confrontar la hipótesis planteada sobre que las personas Mapuches poseen

valiosos conocimientos tradicionales para la adaptación y mitigación al cambio climático, se pudo comprobar mediante los diversos indicadores naturales identificados en este estudio que les permiten ser resiliente y adaptarse a la falta de agua, disminución de alimentos y menor productividad de sus tierras. Finalmente, como resultado de este trabajo se diseñó un modelo que articule sinérgicamente los conocimientos tradicionales de los pueblos indígenas y el

conocimiento científico. El modelo tiene seis componentes siendo una propuesta que permitirá que ambos tipos de conocimientos puedan generar nuevos conocimientos y mejorar las condiciones de adaptación y mitigación al cambio climático. Unido a ello permite realizar mejores pronósticos y definir nuevas estrategias de anticipación. En la *figura 8* se presenta el modelo de articulación de conocimientos propuesto en este estudio.

Figura 8. Modelo de articulación de conocimientos (MAC)



Fuente: Elaboración propia

CONCLUSIONES

Durante la investigación se pudo comprobar cada una de las características del conocimiento tradicional como son: dimensión práctica, arraigo territorial, carácter colectivo, linaje u origen histórico, dinamismo intergeneracional, valor económico y socioambiental, carácter oral lingüístico, matriz cultural y expresión de un derecho colectivo que ubica los conocimientos tradicionales dentro del marco de los derechos colectivos de las comunidades y pueblos indígenas. Lo original de este trabajo es que se realizó con el pueblo Mapuche lo que permitió identificar y analizar los conocimientos relacionados con aspectos climáticos, su situación y uso actual.

Por otra parte, se pudo comprobar la hipótesis planteada en este estudio mediante la aplicación de una metodología intercultural de seis etapas, demostrado que las personas Mapuches hablantes en *Mapuzügun* poseen conocimientos tradicionales sobre el clima, y que estos se han transmitido de generación en generación en ceremonias religiosas, culturales y conversaciones familiares. De igual modo se evidenció que los Mapuches durante siglos han observado los fenómenos atmosféricos, astronómicos, el desarrollo de las plantas, el comportamiento y sonido producido por animales, junto a la relación con los espacios ecológicos-culturales-sagrados y el valor de los sueños, constituyendo un conjunto de conocimientos y de experiencias prácticas que les per-

miten anticiparse a fenómenos climáticos, adaptarse y asegurar su alimentación.

Respecto al objetivo principal de la investigación se cumplió al analizarse los conocimientos tradicionales e identificarse aquellos que pueden ser incorporados a los planes de mitigación y adaptación al cambio climático de la contribución determinada nacional. Los conocimientos identificados y su aporte a los esfuerzos que está haciendo el país, fueron validados en la etapa seis de la metodología intercultural. De la misma forma se cumplió el primer objetivo específico referido a la identificación de los indicadores climáticos que se evidencian en los resultados.

Dando respuesta al segundo objetivo específico de la investigación se propuso la implementación de un *modelo de articulación de conocimientos*, que puede aportar a nuevos espacios de cocreación de conocimientos, colaboración de nuevas investigaciones y de trabajo de forma complementaria entre los científicos y custodios de saberes ancestrales. En el modelo propuesto se incorporaron los indicadores culturales como una nueva categoría de los indicadores naturales, tradicionalmente la clasificación incorporaba indicadores biológicos, atmosféricos y astronómicos. Dicho modelo se caracteriza por su equilibrio y la existencia de la paridad en todos sus componentes y elementos, propio de la cultura Mapuche. Además, los conocimientos científicos están al mismo nivel que los conocimientos tradicionales. Esta señal

de respeto y valoración va en contra de la histórica hegemonía del conocimiento y una sociedad de las ausencias, que no ha hecho visible los conocimientos tradicionales, haciendo como que no existieran o no fueran importantes.

Existe el convencimiento y posición del investigador, después de dos años de trabajo, que los conocimientos tradicionales del pueblo Mapuche deben ser incorporados a los planes de mitigación y adaptación de la contribución determinada nacional, ya que se hicieron disponibles y los sabios Mapuches están dispuestos a compartir teniendo un adecuado diálogo intercultural. Esto fue aportado en este estudio, facilitar el diálogo intercultural, proceso que permite construir confianzas, luego espacios de colaboración y finalmente soluciones sostenibles. La metodología intercultural de entrevistas para la obtención de datos y *el modelo de articulación de conocimientos* desarrollados en esta

investigación pueden ayudar a una mejor comprensión de las causas de la conflictividad del territorio dado el contexto histórico, político y social donde se realizó la investigación. La comprensión, respeto y valoración por los aspectos culturales y de cosmovisión permitirán una nueva y mejor forma de relacionarse entre las personas indígenas y no indígenas, incluido el mundo científico.

Como sociedad a nivel global se tiene un gran desafío: hacer visibles y valorar a los pueblos indígenas, que participen activamente en la toma de decisiones a nivel local, territorial y la invitación a entender que ellos tienen los conocimientos precisos para cambiar el curso de los acontecimientos. La evidencia probablemente no está documentada en una publicación, pero los conocimientos los han aplicado con decenas de indicadores naturales y mantenidos por siglos, lo que les ha permitido adaptarse.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Campanario, Y. (25 de abril de 2019). *Los pueblos indígenas son los más vulnerables al cambio climático*. Somos Iberoamérica. <https://bit.ly/3Nf9WSZ>
- Huntington, H. (28 de enero de 2019). *The Many Dimensions of Knowledge*. National Park Service. <https://bit.ly/37NNSi9>
- Instituto Nacional de Estadísticas. (2017). *Censos de Población y Vivienda*. <https://bit.ly/3JAFYLX>
- Lara, R. y Vides-Almonacid, R. (Eds.). (2014). *Sabiduría y adaptación: El valor del conocimiento tradicional para la adaptación al cambio climático en América del Sur*. Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y de los Recursos Naturales. <https://bit.ly/36nfsIV>
- Ministerio del Medio Ambiente. (2020). *Contribución determinada a nivel nacional (NDC) de Chile. Actualización 2020*. <https://bit.ly/3NcSoXH>

Organización de las Naciones Unidas. (septiembre de 2020). *Pueblos Indígenas*. Recuperado el 15 de septiembre de 2020 de <https://bit.ly/3qthlio>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación. (2013). *Saberes ancestrales e indicadores naturales para la reducción de riesgos a desastres agropecuarios*. <https://bit.ly/37NywKt>

Organización Internacional del Trabajo. (2019). *Aplicación del convenio sobre pueblos indígenas y tribales núm. 169 de la OIT: Hacia un futuro inclusivo, sostenible y justo*. <https://bit.ly/3ulW8gX>

Valladares, L. y Olivé, L. (2015). ¿Qué son los conocimientos tradicionales? Apuntes epistemológicos para la interculturalidad. *Cultura y Representaciones Sociales*, 10(19), 61-101. <https://bit.ly/3qtkbcE>

Van Gastel, J. (24 de junio de 2018). *Los pueblos indígenas ante los desafíos ambientales*. Fondo Mundial para la Naturaleza. <https://bit.ly/3JzAfB7>

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a los sabios Mapuches que participaron de esta investigación, en especial al Machi Víctor Caniullan por compartir sus valiosos conocimientos tradicionales relacionados con la espiritualidad y medicina ancestral. Mi mayor respeto, valoración y reconocimiento a los pueblos indígenas del mundo y de Chile. Su relación con la naturaleza es única, comprobando que la naturaleza les habla más allá de los cinco sentidos.



Participación de la mujer en el ámbito laboral turístico y académico en la Amazonía Ecuatoriana

Participation of women in the tourist and academic work environment in the Ecuadorian

Participação de mulheres no ambiente de trabalho turístico e acadêmico na Amazônia equatoriana

María Victoria Reyes Vargas / Universidad Regional Amazónica Ikiam - Universidad Estatal Amazónica, Ecuador / ma_victoriareyes@yahoo.com

Ángel Fernando Ortega Ocaña / Universidad Estatal Amazónica, Ecuador / fortega@uea.edu.ec

Lady Diana Vera Solórzano / Universidad Andina Simón Bolívar- Universidad Regional Amazónica Ikiam, Ecuador / lady.vera@ikiam.edu.ec

Recibido: 14/7/2021

Aceptado: 16/10/2022

Publicado: 13/11/2022

RESUMEN

En la investigación se identificaron espacios de actuación de la fuerza laboral femenina involucrada en la actividad turística para determinar sus procesos y formas de participación. El estudio fue descriptivo y exploratorio, empleándose diferentes indicadores para identificar la participación de las mujeres que acceden a puestos de trabajo, gestión y docencia universitaria. Los resultados se enmarcaron en la participación de la mujer en alrededor del 50% de empleos generados, mayormente en el nivel operativo y en menor escala directivos y gerenciales relacionados al ámbito laboral del turismo. En lo político, en el proceso electoral de 2019 se registró la presencia del 17.39% de prefectas y el 8.14% de alcaldesas. La empleabilidad de mujeres en la región se concentra en las provincias de Napo y Orellana. En lo académico, la representación de la mujer en la docencia es del 36%, en puestos de gestión el 44% y el 58% de los estudiantes. Aspectos como valores, actitudes, normas, roles, estereotipos, habilidades, aptitudes, entre otros, constituyen variables del género, que propician en la sociedad una jerarquización de la organización social; donde los hombres de forma mayoritaria ocupan los puestos claves, relacionados con el poder.

Palabras clave: ámbito laboral, empoderamiento femenino, fuerza laboral femenina

ABSTRACT

In the research, action spaces were identified for the female workforce involved in tourism to determine their processes and forms of participation. The study was descriptive and exploratory, using different indicators to identify the participation of women who access jobs, management and university teaching. The results were framed in the participation of women in around 50% of jobs generated, mostly at the operational level and to a lesser extent directors and managers related to the tourism work environment. Politically, in the 2019 electoral process, the presence of 17.39% of prefects and 8.14% of mayors was registered. The employability of women in the region is concentrated in the provinces of Napo and Orellana. In the academic field, the representation of women in teaching is 36%, in management positions 44% and 58% of students. Aspects such as values, attitudes, norms, roles, stereotypes, skills, aptitudes, among others, constitute gender variables, which promote a hierarchy of social organization in society; where most men occupy the key positions, related to power.

Keywords: female empowerment, female workforce, workplace

RESUMO

Na pesquisa, foram identificados espaços de ação para a força de trabalho feminina envolvida no turismo para determinar seus processos e formas de participação. O estudo foi descritivo e exploratório, utilizando diferentes indicadores para identificar a participação das mulheres que acessam empregos, gestão e ensino universitário. Os resultados enquadraram-se na participação das mulheres em cerca de 50% dos postos de trabalho gerados, majoritariamente ao nível operacional e em menor escala de dirigentes e gestores relacionados com o ambiente de trabalho do turismo. Politicamente, no processo eleitoral de 2019, registrou-se a presença de 17.39% de prefeitos e 8.14% de prefeitos. A empregabilidade das mulheres na região está concentrada nas províncias de Napo e Orellana. No campo acadêmico, a representação de mulheres na docência é de 36%, em cargos de gestão 44% e 58% dos alunos. Aspectos como valores, atitudes, normas, papéis, estereótipos, habilidades, aptidões, entre outros, constituem variáveis de gênero, que promovem uma hierarquização da organização social na sociedade; onde a maioria dos homens ocupa as posições-chave, relacionadas ao poder.

Palavras chave: empoderamento feminino, força de trabalho feminina, local de trabalho

INTRODUCCIÓN

Desde tiempos remotos la mujer se enfrenta a una sociedad caracterizada por el machismo, donde el hombre es símbolo de poder y decisión, y la mujer es aquella persona cuyo espacio de desenvolvimiento son las tareas domésticas de su hogar, y el cuidado, crianza y educación de sus hijos. No existen estudios sistematizados que logren precisar el surgimiento o efecto de las primeras teorías feministas, únicamente publicaciones en la que algunos autores refieren que inició en la década de los años 50 del siglo XX, mientras que otros aducen a los años 60, como el inicio de la inclusión parcial de la participación de la mujer de forma particular en investigaciones científicas, escasos proyectos y en ciertos discursos de autoridades que resaltaron la importancia de la igualdad de derechos y la generación de oportunidades en el campo laboral (Moral y Ramos, 2016).

La Organización Mundial del Turismo (2019) refiere que, en la mayoría de las regiones del mundo, la mano de obra del turismo está integrada en su mayor parte por mujeres, que tienden a concentrarse en los empleos más humildes y peor remunerado. Dicha afirmación resulta coincidente en varios de los subsectores del turismo como el alojamiento, la alimentación, la recreación y en las diversas formas de gestión del turismo (Ariza y Bolaños, 2020). Las mujeres ocupan más del 50% de los puestos de ventas, recursos humanos, atención al cliente, limpieza y mantenimiento y atención de habitaciones. Por su parte, según Peralta (2021), las mujeres representan solo el 26.7% de las presiden-

cias y el 40% de las gerencias generales de empresas relacionadas con el turismo.

Por su parte, Moreno (2018) cita varias investigaciones realizadas sobre el tema objeto de estudio, las cuales sostienen que el turismo se debe analizar bajo la perspectiva de género, ya que, han cimentado las bases que afirman que los beneficios del turismo no son equitativos e igualitarios tanto para mujeres como para hombres, puesto que el turismo es visto como una actividad sostenible, que no genera problemas y su gestión aparentemente es apolítica. Lo anterior conlleva a que varias de las conceptualizaciones y debates se enfoquen únicamente en el turista, asumiendo que es el eje principal de la cadena de valor, dejando de lado los requerimientos y necesidades de la población local, lo que repercute en la imagen de un destino y por ende en la calidad del servicio ofertado. Es por ello que varias de las ocupaciones laborales del turismo son consideradas como actividades poco calificadas para el sector económico, siendo en gran parte aquellas realizadas por las mujeres. De ahí que el turismo puede verse como una actividad antagónica dentro de un sistema capitalista, donde las estrechas relaciones entre sus agentes: empresa, familia y Estado se fundamentan en la demanda de bienes y servicios que deben producirse y por ende prestarse (Zambrano y Ruiz, 2018); lo que pone de manifiesto las relaciones de poder, que usualmente se focalizan en las percepciones masculinas que pretenden a toda costa sobresalir ante las mujeres.

En tal sentido, Rodríguez (2007) concibe el género como una categoría analítica construida a través de las relaciones sociales que ayudan a dar sentido a historias y mundos particulares. Por su lado Scott (1999) y Moreno (2018) refieren el género como un elemento constitutivo de las relaciones sociales basadas en las diferencias que distinguen los sexos y es una forma primaria de relaciones significantes de poder. Por lo tanto, entender el significado de género se relaciona con la comprensión de la condición humana, sea femenina o masculina, en función de los deberes y prohibiciones asignadas a cada uno. En el contexto actual, la sociedad en su conjunto piensa que el género constituye una categoría de análisis de actuación del hombre y la mujer, sin considerar las diferencias implícitas en la presentación, participación y ejercicio de derechos y obligaciones en la sociedad.

Se atribuye al catolicismo uno de los espacios de disgregación de roles que se establecieron en conformidad con el género de los integrantes de la sociedad, generando restricciones o limitaciones de la presencia femenina en las esferas de la educación superior (Luna, 2003), a pesar del importante aporte realizado por mujeres en el mundo científico. Siendo algunos de los ejemplos Caroline Hershel, quien descubrió ocho cometas a lo largo de su vida profesional, fue asistente de su hermano, también astrónomo, recibía un pequeño salario de la Corona, convirtiéndose así en la primera mujer asalariada en 1798. La norteamericana María Mitchell fue la primera mujer miembro de la Academia Americana de Artes y Ciencias

en 1848 y de la Asociación Americana para el Avance de las Ciencias en 1850; descubrió el cometa que lleva su nombre y realizó los cálculos para el índice producido por el Observatorio Naval de Estados Unidos. Mientras que Emmy Noether en 1935 fue catalogada como una de las grandes mentes de las matemáticas.

Según Cánoves y Blanco (2006) en su estudio sobre teletrabajo, género y gentrificación o elitización en espacios rurales, resalta que existen dos colectivos de mujeres asociadas a este tema: aquellas que tienen un nivel de formación medio alto y se dedican a la venta de servicios de forma independiente en áreas relacionadas con la informática, diseño gráfico y periodismo; y un segundo grupo formado por aquellas que realizan trabajos específicos para clientes y empresas, siendo traductoras, secretarias, contadoras, entre otros oficios. Por lo tanto, para las mujeres es beneficioso, puesto que les brinda autonomía para combinar actividades domésticas y profesionales, gestionando su tiempo, así como el tipo y ritmo del trabajo. Ariza y Bolaños (2020) en un estudio sobre ecoturismo, mujer y desarrollo, refieren la posibilidad de estudiar la participación de las mujeres en el turismo en áreas naturales desde dos perspectivas: la oferta de servicios turísticos en la que participan mujeres en áreas relacionadas con la administración, gestión y prestación de servicios; y desde la demanda, donde se encuentran las mujeres que emprenden viajes de naturaleza y toman decisiones de consumo y viaje (Figueroa-Domecq *et al.*, 2015).

Estudios relacionados con la participación de la mujer en el turismo, revelan la influencia del género sobre la demanda de los viajes; mientras los hombres tienden a viajar con más frecuencia por motivos laborales o de negocios, las mujeres viajan más por propósitos de ocio, incluyendo las visitas a amigos y familiares. Lo mismo ocurre con la frecuencia de estos, relacionados con la edad o los ciclos de vida de cada grupo, que alcanzan picos más altos en las mujeres antes que en los hombres (Collins y Tisdell, 2002; citado por Ariza y Bolaños, 2020). Un estudio realizado en Pennsylvania analizó estas diferencias y reveló que las mujeres que viajan estaban más motivadas por la vinculación familiar y el interés en la exploración del entorno natural y rural, mientras que los hombres se inclinaban por la pesca y la caza (Xie *et al.*, 2008).

La Región Amazónica Ecuatoriana representa el 48% del territorio nacional, donde habitan alrededor de 740 mil habitantes. Contempla seis de las 24 provincias que tiene el Ecuador: Sucumbios, Orellana, Napo, Pastaza, Morona Santiago y Zamora Chinchipe. Existen asentamientos de 11 pueblos ancestrales: *Siona, Siekopai, Ai' Cofán, Shuar, Achuar, Waorani, Shiwiar, Sapara, Andwa, Quijos y Kichwa*; siendo estos últimos los más numerosos en cuanto a cantidad de habitantes (Reyes *et al.*, 2017). Cada población conserva manifestaciones culturales propias, así como, resguardan sus escenarios naturales, que constituyen los principales elementos motivacionales para los turistas nacionales y extranjeros que llegan al territorio.

Esta región es catalogada como el pulmón del planeta, debido a la presencia de una gran biodiversidad, cuya conservación se debe en parte a las declaratorias de áreas protegidas por parte del hoy denominado Ministerio de Ambiente, Agua y Transición Ecológica. A la presente fecha se registran 22 áreas protegidas de un total de 70 que tiene Ecuador (Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica, 2022).

De ahí que la investigación haya tenido como objetivo analizar la situación actual de las mujeres relacionadas con el sector turístico y el ámbito académico en las instituciones de educación superior pública de la Amazonía Ecuatoriana. Además de que se determina el porcentaje de mujeres que acceden a puestos de trabajo, ejercen el liderazgo en la academia, estudian, y conforman el personal académico y administrativo que labora en las referidas entidades.

DESARROLLO

En la presente investigación se empleó un enfoque mixto, que contempla la recolección, análisis e interpretación de datos, cuyo enfoque combina lo cualitativo y cuantitativo, dependiendo de los elementos que se estudien (Otero, 2020). Para obtener la información se realizó una investigación de carácter documental, centrando la búsqueda y selección de la información existente en fuentes secundarias, tales como artículos científicos, tesis, revistas, libros, entre otros; pues para Gómez *et al.* (2016) la pertinencia documental en un estudio incluye documentos que incluyan infor-

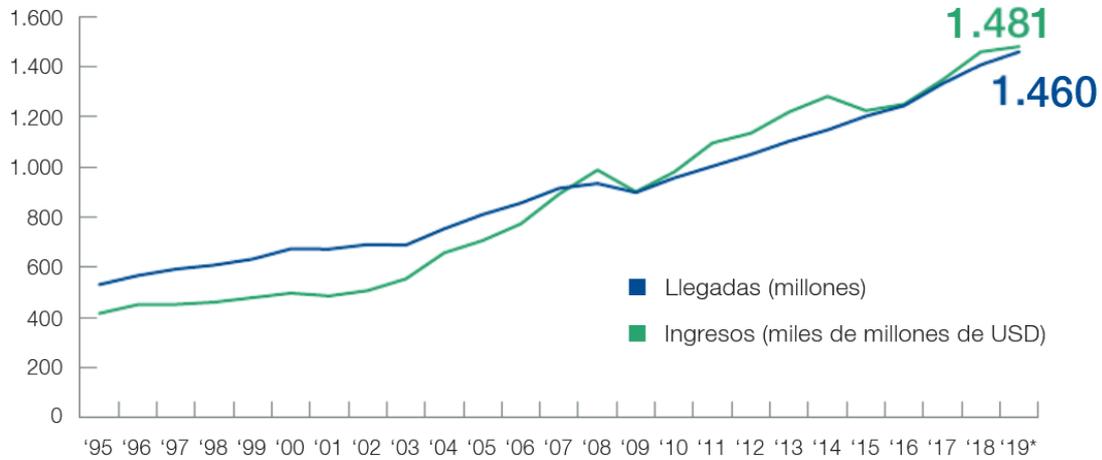
mación verdadera, sin alteración o confusión para algunos fines específicos, no relacionados con la investigación.

Se contactó con funcionarios del Ministerio de Turismo para tener acceso al catastro nacional turístico; así como con los responsables de las dependencias académicas y administrativas de las dos universidades públicas que tienen su sede matriz en la Amazonía Ecuatoriana (Tena y Puyo), quienes facilitaron información relacionada con el personal técnico, docente y estudiantes. Se protegió la identidad de las instituciones universitarias de educación superior codificándolas de la siguiente manera: IES1, IES2. Los datos cuantitativos obtenidos miden la participación que tiene la mujer en el ámbito laboral a nivel de las provincias amazónicas, considerando la tipología de actividades turísticas reconocidas en el país. En cuanto al ámbito académico se analizó la participación en las funciones de gestión, docencia y estudios, para lo cual se observó el personal que laboró y estudiantes matriculados en los períodos académicos de los años 2020 y 2021 en las dos instituciones. Para lo anterior se consideraron los siguientes indicadores: porcentaje de docentes por género en las instituciones referidas (titulares y ocasionales); porcentaje de docentes que cumplen funciones de gestión y porcentaje de hombres y mujeres estudiantes en los períodos referidos.

Participación de la mujer en el turismo mundial

A partir del año 1950 es inminente el crecimiento del turismo internacional, así lo demuestran las estadísticas publicadas por la Organización Mundial de Turismo (OMT, 2019b), donde son notables los registros de flujos turísticos. Es por ello, que el turismo se convirtió en una de las actividades económicas con más rápido crecimiento en las últimas décadas; y por ende su aporte a las economías locales resulta de vital importancia para muchos territorios. Los datos históricos registraron en el año 1950 un movimiento de 25 millones de desplazamientos a nivel internacional tal y como se aprecia en la *figura 1*. Las previsiones de la Organización Mundial de Turismo indicaban llegar a los 1 800 millones de turistas al año 2030; lastimosamente la aparición del covid-19 generó un cambio en la dinámica de esta actividad, debido principalmente al cierre de aeropuertos, destinos turísticos y la crisis socioeconómica generada a nivel mundial. Debido a esta situación dicha organización habla de un optimismo cauteloso, y es en este contexto que se han realizado varias publicaciones con información concerniente a los impactos generados por la pandemia en el turismo a nivel internacional; donde se refieren a un retroceso de entre 5 y 7 años de crecimiento, o incluso un tiempo mayor.

Figura 1. Llegadas de turistas internacionales e ingresos generados (período 1995-2019).

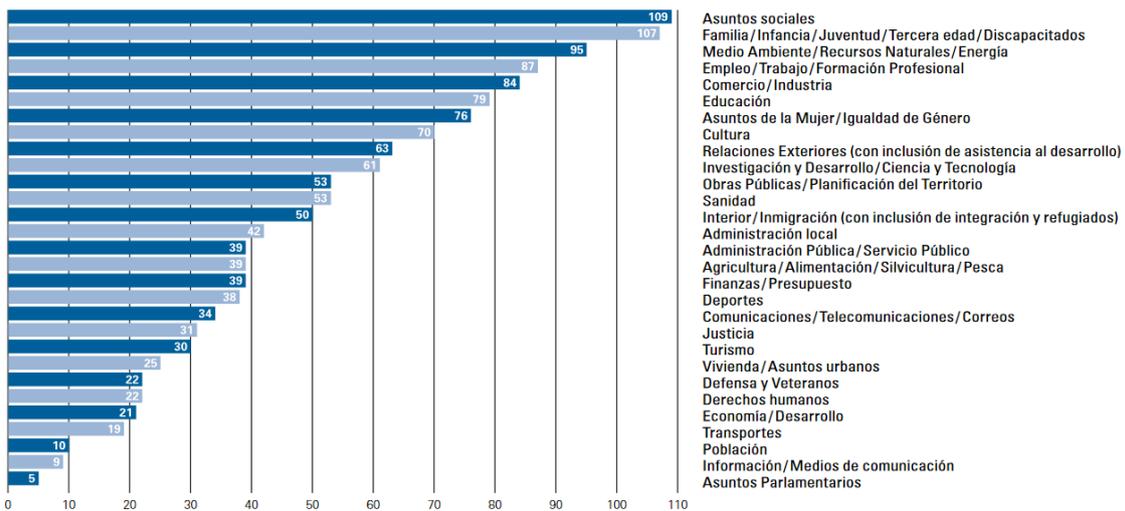


Fuente: Organización Mundial del Turismo (2020).

En el *Informe Mundial sobre la Mujer en el turismo* de la OMT (2019a), se resalta la importancia de examinar los factores claves que contribuyen a la igualdad de género en el sector turístico. Además, se identifican los desafíos y formas para mitigar la desigualdad y aprovechar el potencial del turismo para propiciar

acciones que se enfoquen en la igualdad de género y el empoderamiento mundial. Aunque la disponibilidad de datos cuantitativos desglosados por género que hagan referencia al turismo en el mundo es limitado, es posible presentar las siguientes cifras contenidas en las *figuras 2 y 3*.

Figura 2. Carteras de Estado presididas por mujeres en el mundo durante el año 2020.



Fuente: Naciones Unidas (2021).

Figura 3. Porcentaje de mujeres emprendedoras en el mundo al año 2019.



Fuente: Global Entrepreneurship Association, citado por Pasquali (2020).

Los cuatro factores claves que refiere el *Informe Mundial sobre la Mujer* en el turismo de la OMT (2019a), son: promoción de la igualdad, generación de políticas, desarrollo de estrategias y establecimiento de vínculos, para lo cual se dispone de los siguientes datos:

1. Promoción de la igualdad salarial para promover trabajo decente para las mujeres en el turismo:
 - El 39% de las personas empleadas en la economía en general son mujeres.
 - El 54% de las personas empleadas en el turismo son mujeres.
 - Las mujeres en el turismo ganan al menos 14.7% menos, mientras que las mujeres en la economía en general

ganan el 16.8% menos que cualquier otra actividad económica.

- El 23% de los ministros de turismo son mujeres, al menos 30 mujeres ocupan la titularidad en 188 países y el 20.7% de ministros de gobierno son mujeres.

En cuanto al porcentaje de personas empleadas por género en servicios de alojamiento y otros servicios en el período 2009-2018, se resalta que al menos el 54% son mujeres, a decir de investigaciones en el tema realizadas por la Organización Internacional del Trabajo, que considera a 157 países.

Estas cifras permiten conocer que las mujeres constituyen la mayoría de la población activa en el turismo a nivel mundial. La brecha sa-

larial de acuerdo con el género es menor en la actividad turística que en otras actividades económicas en el mundo. Sin embargo, el empleo turístico está comparativamente peor pagado tanto para hombres como para mujeres en relación con el resto de las actividades económicas. Si bien las mujeres a menudo poseen y administran sus propios negocios como emprendedoras, están subrepresentadas en puestos de alta dirección. Existe una brecha salarial de género en el sector del turismo, puesto que las mujeres tienen un salario menor al que ganan los hombres por un mismo trabajo.

2. El contar con políticas legales y macroeconómicas sensibles al género a nivel nacional que resalten el empoderamiento económico en el sector turístico y propicien un espíritu empresarial de las mujeres y por ende conduzcan al aumento del emprendimiento turístico es importante.
3. Las estrategias de igualdad de género para el sector del turismo son vitales para el empoderamiento de la mujer y deben ser respaldadas por el apoyo institucional y presupuestario y, por tanto, incluidas en los planes nacionales de desarrollo.
4. El turismo es una estrategia importante para que las mujeres se empoderen desde los ámbitos político y social para establecer vínculos con las organizaciones comunitarias y la sociedad civil.

Participación de la mujer en el ámbito laboral del turismo en el Ecuador y la Región Amazónica

Goetschel (2007), como se citó en Mantilla-Falcón *et al.* (2017), refiere que en Ecuador

un personaje insigne de inserción histórica de la mujer en los ámbitos profesionales y políticos fue Matilde Hidalgo de Prócel; primera mujer que cursó una carrera universitaria y logró titularse como la primera médico del país a inicios del siglo XX, luego se convirtió en la primera mujer en ejercer el derecho al voto en el año de 1924.

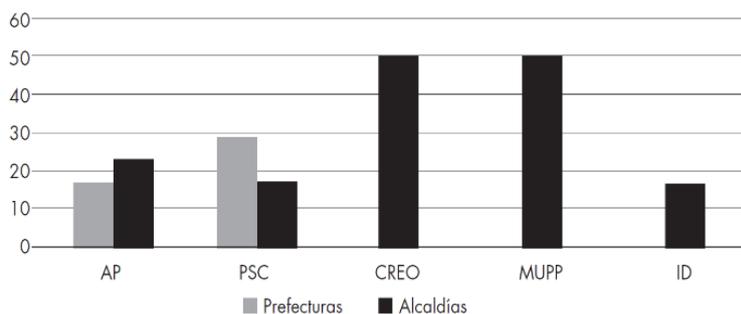
Con la aprobación de la Constitución de la República de Ecuador en el año 2008, se reconocen derechos, obligaciones y garantías para las mujeres, esto gracias a la incansable lucha por reivindicar desigualdades latentes en la sociedad, como respuesta a la lucha de una igualdad de género real y efectiva; se reconoce, por tanto, la libertad de accesibilidad a la educación superior para la mujer. Por tal razón, las instituciones que componen el Sistema de Educación Superior iniciaron un proceso de reestructuración institucional y normativo, que promueve el libre ingreso, así como el acceso a la gratuidad y demás beneficios instaurados en la educación para las mujeres.

Desde el ámbito político, según información del Consejo Nacional Electoral, que cita Accosatto (2021), refiere que, en las elecciones del año 2019, dentro de los 221 gobiernos autónomos descentralizados cantonales (Alcaldías) y 23 gobiernos provinciales (Prefecturas), las mujeres que lograron estos curules son: Prefecturas el 17.39%, que corresponde a cuatro gobiernos provinciales y 18 Alcaldías, que representa un 8.14%. Es decir, la mayor parte de Alcaldes, Prefectos, Concejales rurales, Concejales urbanos y Vocales de juntas parroquiales son hombres; los que representa más del 74% contra el 25.53% ocupados por mujeres (*figuras 4 y 5*). Haciendo una retrospectiva, cinco

años atrás los datos refieren que únicamente dos prefecturas (8.70%) y 16 alcaldías (7.24%) eran ocupadas por mujeres, evidenciando la participación de la mujer en estos espacios de

participación política. En cuanto a la conformación de la Asamblea Nacional de Ecuador por género, en el 2021 las mujeres representan el 37.20% con 51 asambleístas.

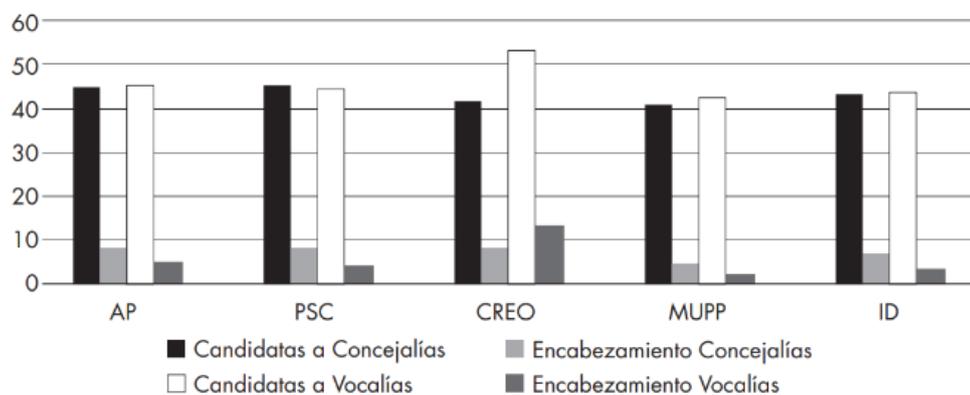
Figura 4. Mujeres candidatas a Prefecturas y Alcaldías por partidos políticos en Ecuador, elecciones 2019.



Nota: **AP:** Alianza País; **PSC:** Partido Social Cristiano; **CREO:** Movimiento Creó; **MUPP:** Pachakutik e **ID:** Izquierda Democrática

Fuente: Accossatto (2021).

Figura 5. Mujeres candidatas a concejalías y juntas parroquiales por partidos políticos en Ecuador, elecciones de 2019.



Nota: **AP:** Alianza País; **PSC:** Partido Social Cristiano; **CREO:** Movimiento Creó; **MUPP:** Pachakutik e **ID:** Izquierda Democrática

Fuente: Accossatto (2021).

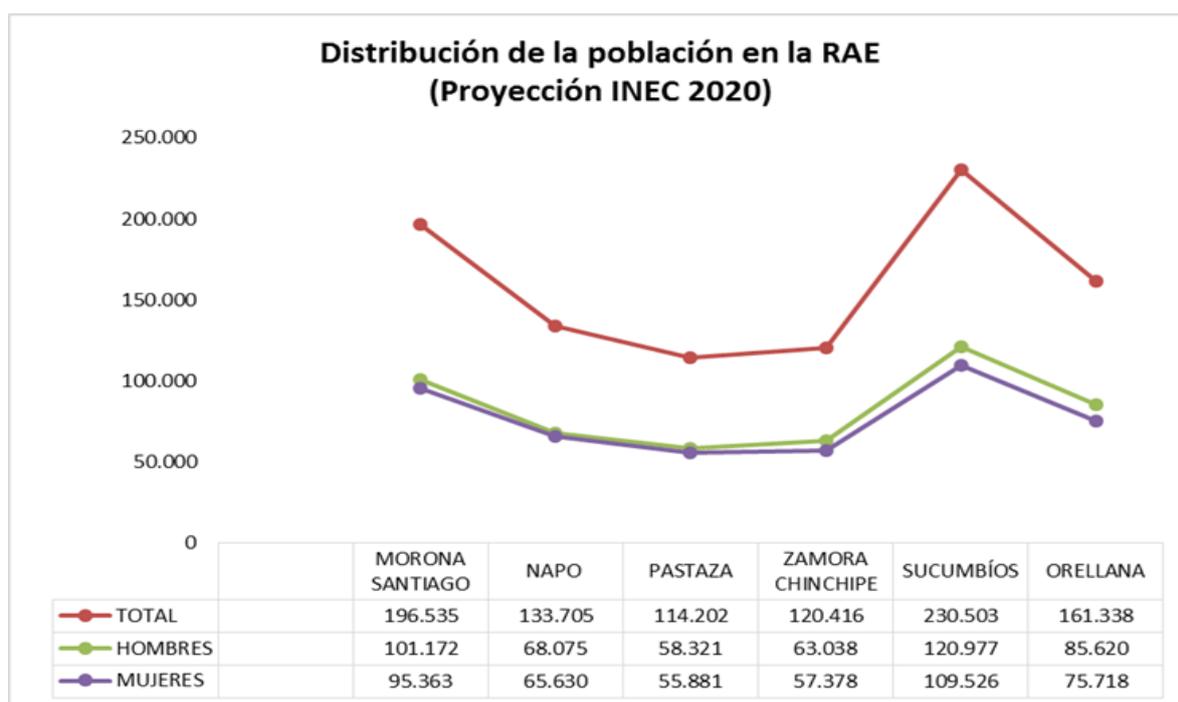
Antes de la declaratoria de pandemia por covid-19, el turismo constituyó una actividad económica de gran importancia para varios países, las estadísticas difundidas por el Consejo Mundial de Viajes y Turismo citada por la Comisión Económica para América Latina y

el Caribe (2020) refieren que se empleaba al menos una de cada once personas en el mundo, lo cual equivale aproximadamente a 277 millones de trabajadores. A decir del Ministerio de Turismo de Ecuador, en el 2019 se registraron más de 2 millones 400 mil llegadas

internacionales al país, lo que representó al menos el 2.20% de aportación al producto interno bruto. De los datos que se poseen, hasta diciembre de 2019 existían más de 477 mil personas empleadas dentro de la actividad de alojamiento y alimentación; dicha cifra representaba el 6.40% del total de personas que laboran y contribuyen con la economía del país. Por lo anterior, dicha actividad se ubicó entre las cinco industrias de mayor contribución al empleo a nivel nacional; con más de 24 mil establecimientos turísticos registrados (Ministerio de Turismo, 2019).

En la proyección de la distribución de la población de Ecuador el Instituto Nacional de Estadísticas y Censo (2020) refiere que el 51% de la población son mujeres y el 49% son hombres; por tanto, no hay diferencias significativas en los dos grupos poblacionales. Al revisar la distribución de la población en la Región Amazónica Ecuatoriana (RAE) se muestra que la provincia con mayor población es Sucumbíos y la de menor es Pastaza. En la totalidad de las provincias que conforman la RAE existe mayor cantidad de hombres, como se refleja en la *figura 6*.

Figura 6. Distribución de la población en la Región Amazónica Ecuatoriana durante el año 2020.



Fuente: Elaboración propia (2021).

La Amazonía Ecuatoriana concentra seis provincias de las 24 existentes en el país, con la presencia de 41 cantones y 203 parroquias, entre urbanas y rurales. El Ministerio de Turismo (2020) refiere la existencia de 24 720

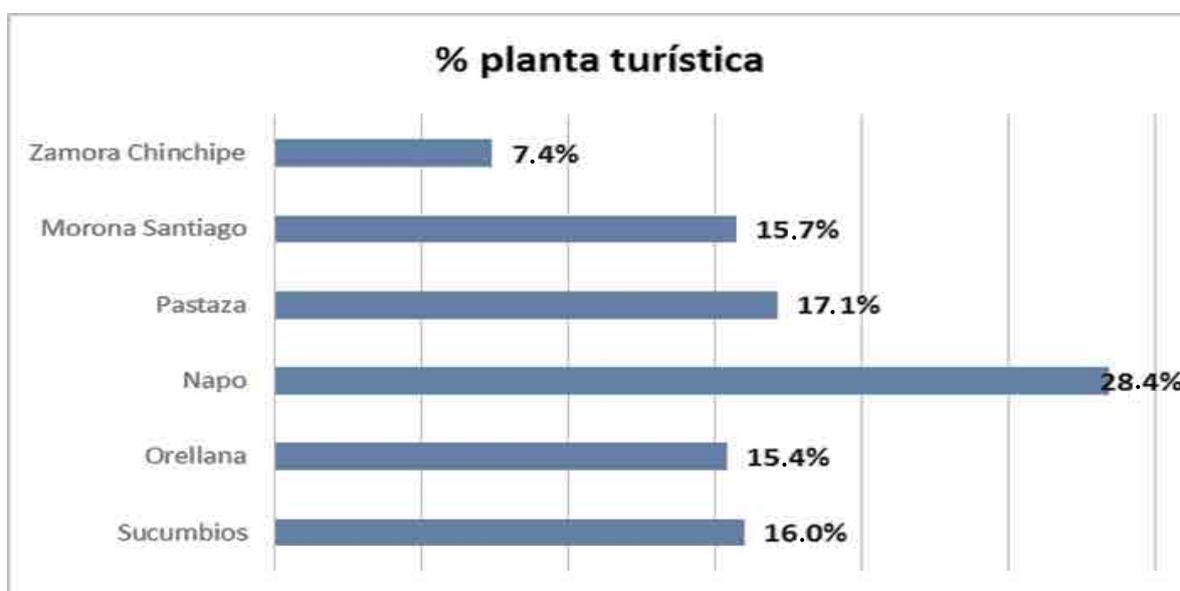
empresas turísticas en Ecuador, de las cuales al menos el 70% corresponde al sector de alimentos y bebidas, generando el 66% de los empleos; el 17% son establecimientos de alojamiento, donde se genera el 21% de los em-

pleos; la operación turística, transporte, intermediación y centros de turismo comunitario abarcan el 13% de los establecimientos con una representatividad en el empleo del 13%. De este total de empresas, el 5% se encuentra registrado en la RAE (1266 establecimientos), mostrando una concentración en la provincia Napo, con al menos el 28%, seguida por Pastaza con el 17% y en menor cantidad el resto de las provincias amazónicas.

Al contrastar esta información con la presencia de la mujer, se determina que la empleabilidad de mujeres está más concentrada en las provincias de Pastaza y Morona Santiago, mientras que en las demás la presencia de los hombres es mayoritaria (figuras 7 y 8). Al cie-

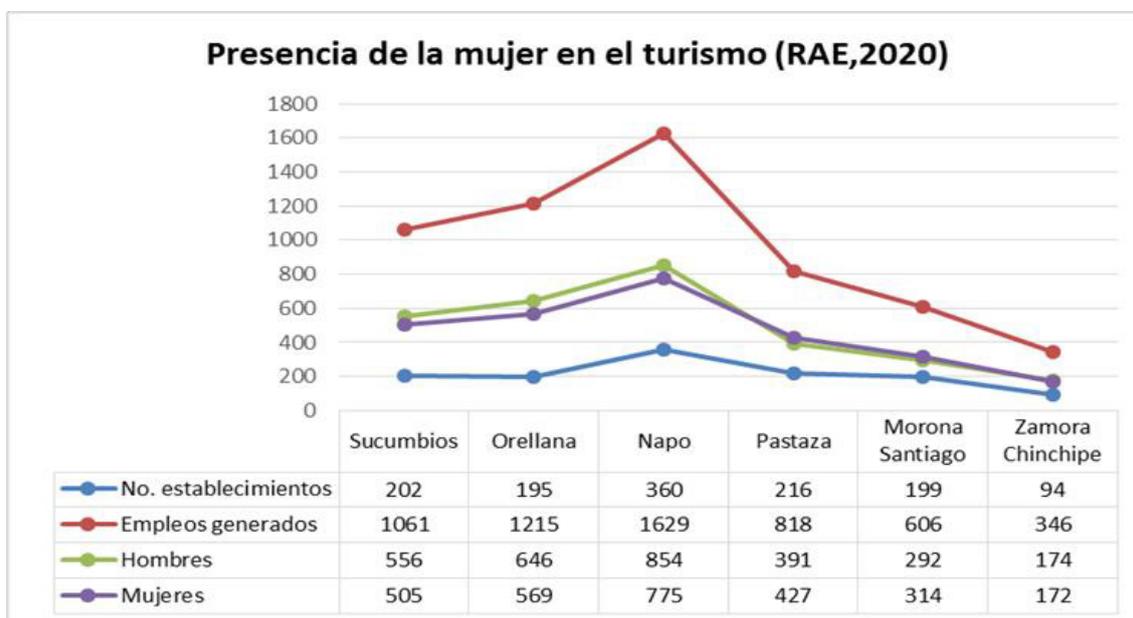
rrer de 2021 los datos resultan inciertos, dada la compleja situación que atraviesa el mundo, sin embargo, el Ministerio de Turismo (2021) refiere la existencia de 19 490 establecimientos legalmente registrados por esta cartera de Estado, es decir, hay un decrecimiento en cuanto a los establecimientos turísticos en el país. En lo que corresponde a la tipología, se resalta que el 87.78% corresponde a microempresas, el 11.72% son pequeñas empresas, el 0.46% son empresas medianas, y únicamente el 0.05% son empresas grandes. En cuanto a empleos generados por concepto de turismo, se indica que son más de 112 000 plazas laborales, de las cuales el 54.05% son ocupados por hombres y el 45.95% por mujeres.

Figura 7. Planta turística de la Región Amazónica Ecuatoriana.



Fuente: Elaboración propia, con información del Ministerio de Turismo (2020).

Figura 8. Participación laboral de la mujer en las actividades turísticas en la RAE durante el 2020.



Fuente: Elaboración propia.

En el ámbito de la educación superior, la RAE cuenta con la presencia de dos instituciones públicas con sede matriz en este territorio, una en la provincia de Pastaza y otra en la provincia

Napo; en la *tabla 1* se presentan datos sobre la participación de la mujer en las funciones de docencia y gestión, así como la matriculación estudiantil en ambas instituciones.

Tabla 1. Participación femenina en el ámbito académico en instituciones públicas de educación superior en la Amazonía Ecuatoriana durante el período 2020-2021.

Período 2020-2021		IES1	IES2	Total	Porcentaje
Docencia	Mujeres	67	37	104	36%
	Hombres	112	75	187	64%
Gestión	Mujeres	9	18	27	44%
	Hombres	22	13	35	56%
Estudiantes matriculados	Mujeres	2543	947	3490	58%
	Hombres	1767	816	2583	42%

Fuente: Elaboración propia con información de IES de la Amazonía Ecuatoriana.

Los datos proporcionados por las instituciones de educación superior en la región amazónica refieren que la matrícula estudiantil durante el período académico 2020-2021 contó con el

58% de estudiantes mujeres, lo cual es coincidente en la totalidad de carreras de pregrado de ambas universidades. En el ámbito docente el panorama es diferente, puesto que sucede

lo inverso, se evidencia que el 36% del personal académico y de apoyo académico corresponde a mujeres. En cuanto al ejercicio de puestos directivos de gestión académica son ocupados mayormente por hombres (56%), a pesar de que una de las IES refleja mayor participación de mujeres.

CONCLUSIONES

En el ámbito político ecuatoriano la mujer ha incrementado su participación. En el último proceso electoral se visualiza un ligero crecimiento de la presencia de mujeres asambleístas (37%), prefectas (17%), alcaldesas (8%) y miembros de juntas parroquiales (26%). Espacios que se van ampliando debido a la reforma e inclusión en la normativa electoral que promueve su participación en este ámbito, así como también por los procesos permanentes de formación profesional, capacitación, desarrollo y demostración de capacidades, habilidades y destrezas, que permiten seguir posicionándose en la sociedad para ocupar el sitio que se merece y le corresponde; a pesar que el machismo persiste en ciertas áreas, donde aducen que los espacios no pueden ser liderados aún por mujeres.

En el espacio laboral del turismo a nivel de país un 45.95% de puestos operativos son ocupados por mujeres; espacios donde han demostrado sus capacidades de liderazgo y manejo eficiente de las empresas y emprendimientos. Por su parte, a nivel de la región amazónica, la empleabilidad tanto de hombres como de mujeres no presenta diferencias significativas; únicamente en las provincias Pastaza y Morona Santiago se registra mayor cantidad de mu-

jer laborando en el sector. Las disparidades se presentan en función de una construcción social y cultural, que tiene como base los roles y estereotipos que refuerzan categorías de poder en cuanto a mujeres y hombres.

En las instituciones de educación superior analizadas hay más docentes hombres que mujeres, éstas últimas representan un 36% de la planta docente, mientras que en cargos de gestión institucional abarcan el 44%. Sin embargo, esto se contrasta con el porcentaje de estudiantes matriculados en ambas instituciones, donde las mujeres representan el 58%. Estos datos indican que no hay una falta de proporcionalidad en la participación, puesto que se evidencia que quienes se encuentran en proceso de formación deben combinar en varios casos su rol de cuidado de hijos y padres con sus estudios de educación superior, lo cual ha dificultado que logren graduarse en una carrera universitaria o a su vez que la duración de esta se prolongue más allá del tiempo programado para un estudiante regular.

Las mujeres presentan mayor susceptibilidad para renunciar a sus trabajos, becas o bien para mantenerse en puestos de bajo, medio y alto perfil; en algunos casos por preferir las actividades vinculadas con la familia y en otros por el machismo presente en el entorno laboral. Es evidente que el código sociocultural es el que marca el accionar y la toma de decisiones en gran parte del sector femenino, puesto que se reconoce a la familia como la prioridad de realización personal, siendo el éxito laboral o académico una realización secundaria.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Accossatto, R. (2021). El lugar de las mujeres en los partidos políticos de América Latina: el caso de Ecuador. *Revista CIDOB d' Afers Internacionals*, (127), 201-28. <https://doi.org/jgr2>
- Ariza, L. J. y Bolaños, J. A. (2020). Ecoturismo, mujer y desarrollo: reflexiones sobre la participación femenina en la práctica del turismo en áreas protegidas en Colombia. *Perspectiva Geográfica*, 25(1), 143-163. <https://doi.org/10.19053/01233769.10772>
- Cánoves, G. y Blanco, A. (2006). Teletrabajo, género y gentrificación o elitización en los espacios rurales: nuevos usos y nuevos protagonistas. Los casos de Cataluña y Ardèche (Francia). *Geographicalia*, (50), 27-44. <https://doi.org/jgr3>
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe. (2020). Evaluación de los efectos e impactos de la pandemia de COVID-19 sobre el turismo en América Latina y el Caribe. Aplicación de la metodología para la evaluación de desastres (DaLA). German Agency for International Cooperation. <https://bit.ly/3DepAtR>
- Figueroa-Domecq, C., Pritchard, A., Segovia-Pérez, M., Morgan, N. y Villacé-Molinero, T. (2015). Tourism gender research: A critical accounting. *Annals of Tourism Research*, 52, 87-103. <https://bit.ly/3TnxZSc>
- Gómez, D. T., Carranza, Y. y Ramos, C. A. (2016). Revisión documental, una herramienta para el mejoramiento de las competencias de lectura y escritura en estudiantes universitarios. *Revista Chakiñan*, (1), 46-56. <https://doi.org/jgr4>
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censo. (2020). *Proyección Censo poblacional de Ecuador para 2020*. <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/proyecciones-poblacionales/>
- Luna, L. (2003). La historia feminista del género y la cuestión del sujeto. *Mujeres en Red. El periódico feminista*. https://www.nodo50.org/mujeresred/f-lola_luna-sujeto.html
- Mantilla-Falcón, L. M., Galarza-Galarza, J. C. y Zamora-Sánchez, R. A. (2017). La inserción de la mujer en la educación superior ecuatoriana: caso Universidad Técnica de Ambato. *Revista Latinoamericana de Estudios Educativos*, 13(2), 12-29. <https://bit.ly/3syg8wp>
- Ministerio de Turismo. (2019). *Catastro de servicios turísticos. Visualizador del número de establecimientos registrados*. <https://bit.ly/3g5K8wE>
- Ministerio de Turismo. (2020). *Catastro de servicios turísticos. Visualizador del número de establecimientos registrados*. <https://bit.ly/3sOirLS>

- Ministerio de Turismo. (2021). *Catastro de servicios turísticos. Visualizador del número de establecimientos registrados, resumen general*. <https://bit.ly/3U4GBNX>
- Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica. (2022). *Áreas protegidas del Ecuador*. <http://ide.ambiente.gob.ec/mapainteractivo/>
- Moral, J. y Ramos, S. (2016). Ajuste diádico, victimización y perpetración en mujeres y hombres mexicanos. *Psykhé*, 25(1). <https://doi.org/10.7764/psykhe.25.1.845>
- Moreno, D. (2018). *Turismo y Género: un enfoque esencial en un contexto de desarrollo sostenible y responsable del turismo* [Tesis de doctorado, Universidad Complutense de Madrid]. Repositorio institucional. <https://eprints.ucm.es/id/eprint/49499/1/T40351.pdf>
- Naciones Unidas. (2021). *Mujeres en la política 2021, situación a enero 2021*. Basado en la cartografía de las Naciones Unidas, mapa No. 4621 Feb 2021. <https://bit.ly/3SGobBK>
- Organización Mundial del Turismo. (2019a). *Informe mundial sobre la mujer en el turismo. Segunda edición*. <https://bit.ly/3EIXeua>
- Organización Mundial del Turismo. (2019b). *Panorama del turismo internacional. Edición 2019*. <https://bit.ly/3S2F5KN>
- Organización Mundial del Turismo. (2020). *Barómetro OMT del Turismo Mundial, mayo 2020. Con especial enfoque en el impacto de la COVID-19 (Resumen)*. <https://bit.ly/3CG7XD4>
- Otero, A. (2020). *Enfoques de investigación*. <https://bit.ly/3S0UCuv>
- Pasquali, M. (19 de noviembre 2020). *Emprendimientos y género. ¿En qué países hay más mujeres que se dedican a emprender?* Statista. <https://bit.ly/2kitLjU>
- Peralta, L. (2021). *El turismo de Centroamérica y la República Dominicana ante las tecnologías digitales: retos y oportunidades para las mipymes*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe. <https://bit.ly/3MyOI2v>
- Reyes, M. V., Ortega, A. F. y Machado, E. L. (2017). Modelo para la gestión integrada del turismo comunitario en Ecuador, caso de estudio Pastaza. *REVESCO. Revista de Estudios Cooperativos*, 123, 250-275. <https://doi.org/10.5209/REVE.53242>
- Rodríguez, M. C. (2007). Opiniones de las maestras de educación infantil sobre el papel de la familia y la escuela en la configuración de la identidad de género. *Revista Electrónica Interuniversitaria de Formación del Profesorado*, 10(1), 1-9. <https://bit.ly/3FkBK6Y>
- Scott, J. (1999). *Gender and the Politics of History*. Editorial Columbia University Press.

Xie, H., Costa, C. y Morais, D. B. (2008). Gender differences in rural tourists' motivation and activity participation. *Journal of Hospitality and Leisure Marketing*, 16(4), 368-384. <https://doi.org/dzxrw4>

Zambrano, R. M. y Ruiz, A. (2018). El capitalismo en el sector turístico y su incidencia en el desarrollo socio-económico de Ecuador. *Revista Caribeña de Ciencias Sociales*, (octubre). <https://bit.ly/3CDBggV>



Caracterización de los residuos sólidos urbanos y desperdicios de alimentos del Distrito Metropolitano de Quito

Urban solid waste characterization and food waste of the Metropolitan District of Quito

Caracterização de resíduos sólidos urbanos e desperdício de alimentos do Distrito Metropolitano de Quito

Xavier Oña-Serrano / Escuela Politécnica Nacional, Ecuador / xavier.ona@epn.edu.ec

Oswaldo Viteri-Salazar / Escuela Politécnica Nacional, Ecuador / hector.viteri@epn.edu.ec

Juan José Cadillo Benalcazar / Universitat Autònoma de Barcelona, España / jcadillobenalcazar@gmail.com

Xavier Buenaño Guerra / Universidad Politécnica de Madrid, España / dr.x.buenanio@gmail.com

Recibido: 8/12/2021 **Aceptado:** 20/6/2021 **Publicado:** 1/7/2022

RESUMEN

El Distrito Metropolitano de Quito genera residuos sólidos urbanos de composición orgánica significativa, procedentes de residuos de alimentos, que producen gases de efecto invernadero y contribuyen al calentamiento global y cambio climático. El propósito de esta investigación fue cuantificar el desperdicio de alimentos en hogares de Quito, caracterizar el metabolismo de la gestión de residuos sólidos urbanos en la ciudad y estimar la contribución de esta gestión en las emisiones de gases de efecto invernadero. La investigación es cuantitativa de tipo exploratoria. Se utilizó una encuesta para recopilar información primaria, la información secundaria se obtuvo mediante la revisión de literatura. Se aplicó la metodología de redes metabólicas y la herramienta para calcular gases de efecto invernadero. La cantidad total de desperdicios de alimentos fue 202 kg/semana aproximadamente, en promedio 0.76 kg/semana/hogar. Conforme los resultados de la red metabólica de gestión de residuos sólidos urbanos, se aportaron 543 967 t para el relleno sanitario; y 6273 t para reciclaje. La emisión estimada de gases fue 934 088 t CO₂-eq/año. La caracterización de la gestión de residuos sólidos urbanos identificó el patrón metabólico del sistema, flujos que se devuelven a la sociedad mediante el reciclaje y salidas útiles como compostaje y biogás.

Palabras clave: gases de efecto invernadero, patrón metabólico, red metabólica, relleno sanitario

ABSTRACT

The Metropolitan District of Quito generates solid urban waste with a significant organic composition, from food waste, which produces greenhouse gases and contributes to global warming and climate change. The purpose of this research was to quantify food waste in households in Quito, characterize the metabolism of urban solid waste management in the city, and estimate the contribution of this management to greenhouse gas emissions. The research is quantitative of an exploratory type. A survey was used to collect primary information, secondary information was obtained through literature review. The methodology of metabolic networks and the tool to calculate greenhouse gases were applied. The total amount of food waste was approximately 202 kg/week, on average 0.76 kg/week/household. According to the results of the urban solid waste management metabolic network, 543 967 tons were contributed to the landfill; and 6.273 tons for recycling. The estimated emission of gases was 934 088 t CO₂-eq/year. The characterization of urban solid waste management identified the metabolic pattern of the system, flows that are returned to society through recycling, and useful outputs such as composting and biogas.

Keywords: greenhouse gases, landfill, metabolic network, metabolic pattern

RESUMO

O Distrito Metropolitano de Quito gera resíduos sólidos urbanos com significativa composição orgânica, a partir de resíduos de alimentos, que produzem gases de efeito estufa e contribuem para o aquecimento global e as mudanças climáticas. O objetivo desta pesquisa foi quantificar o desperdício de alimentos em domicílios em Quito, caracterizar o metabolismo da gestão de resíduos sólidos urbanos na cidade e estimar a contribuição dessa gestão para as emissões de gases de efeito estufa. A pesquisa é quantitativa do tipo exploratória. Um questionário foi usado para coletar informações primárias, as informações secundárias foram obtidas por revisão de literatura. Aplicou-se a metodologia de redes metabólicas e a ferramenta de cálculo de gases de efeito estufa. A quantidade total de desperdício alimentar foi de aproximadamente 202 kg/semana, em média 0.76 kg/semana/domicílio. Conforme os resultados da rede metabólica de gestão de resíduos sólidos urbanos, foram aportadas ao aterro 543 967 t; e 6273 t para reciclagem. A emissão estimada de gases foi de 934088 t CO₂-eq/ano. A caracterização da gestão dos resíduos sólidos urbanos identificou o padrão metabólico do sistema, fluxos que são devolvidos à sociedade por meio da reciclagem e saídas úteis como compostagem e biogás.

Palavras chave: aterro sanitário, gases de efeito estufa, padrão metabólico, rede metabólica

INTRODUCCIÓN

La estimación del crecimiento poblacional para el año 2050 es de 10 000 millones de habitantes, de ellos el 70% en zonas urbanas (Naciones Unidas, 2018). Este aumento influye en la demanda de alimentos con repercusiones en presiones adicionales sobre el sistema alimentario global (Godfray *et al.*, 2010). En este contexto, la pérdida y desperdicio de alimentos son una señal del funcionamiento deficiente de los sistemas alimentarios. Entre las etapas de postcosecha y venta minorista se pierde alrededor del 14% de la producción mundial; y entre las etapas de venta al por menor y consumidor, se desperdicia el 17% de la producción mundial de alimentos (Food and Agriculture Organization, 2021).

La problemática de la pérdida y desperdicio de alimentos ha causado gran interés a nivel mundial debido a las afectaciones ambientales relacionadas con las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y su contribución negativa a la contaminación global. Por ejemplo, en el Reino Unido la estimación respecto a los alimentos representa la mitad del total de emisiones de GEI en los vertederos de basura (Porter *et al.*, 2016). En este orden de ideas, se han buscado alternativas que minimicen los efectos ambientales, por ejemplo, usar las fracciones de desperdicio de alimentos no comestibles para la generación de energía o producción de compostaje (Dal' Magro y Talamini, 2019).

Por su parte, de manera análoga, el incremento poblacional y estándares de vida en las ciudades, acompañados de una economía favorable y rápida urbanización han acelerado grandemente la tasa de generación de residuos sólidos urbanos (RSU) en los países en desarrollo (Abarca-Guerrero *et al.*, 2013). Se estima que más de cuatro mil millones de toneladas de residuos sólidos se producen en el mundo cada año, de los cuales casi la mitad son RSU (Zambrano-Monserrate *et al.*, 2021). En países de ingresos bajos y medios, la composición orgánica¹ de los RSU fluctúa entre el 40 y 85%. En este contexto, en el Distrito Metropolitano de Quito el crecimiento promedio poblacional entre 2010 y 2020 fue de 1.8% según el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos de Ecuador (INEC, 2013b), mientras que el crecimiento promedio de generación de RSU², entre 2011 y 2020 fue de 1.2%, según la Empresa Pública Metropolitana de Gestión Integral de Residuos Sólidos (EMGIRS, 2021). A nivel de país, el desperdicio de alimentos en hogares se estimó en 72 (kg/cápita/año), este dato es extrapolado debido a la ausencia de información (United Nations Environment Programme, 2021). Los RSU contribuyen al cambio climático por medio de la generación de GEI, y se estima que para el 2050 las emisiones de dióxido de carbono representarán 2 600 millones de toneladas. El metano que se genera por descomposi-

¹ Restos de comida, desechos de jardín (hojas y hierbas)

² Se asume como el dato de ingresos de RSU provenientes de las estaciones de transferencia norte y sur hacia el relleno sanitario de Quito

ción de desechos orgánicos es el mayor contribuyente del sector de desechos sólidos a las emisiones GEI (Kaza *et al.*, 2018).

Se puede decir que los sistemas sociales convierten las materias primas en productos manufacturados, servicios y desechos (Fischer-Kowalski y Haberl, 1998). Estos procesos transforman los recursos, que se reflejan en la irreversibilidad de los fenómenos naturales, esto es, la ley de la entropía. Por su parte, los sistemas socio-ecológicos son las relaciones que involucra variables necesarias para la vida humana (Cadillo, 2015). El presente trabajo considera la gestión de RSU como parte de un sistema socio-ecológico más amplio, a través de un conjunto de relaciones esperadas descritas en términos cuantitativos simultáneamente en diferentes niveles jerárquicos y escalas, es decir, a través del patrón metabólico de la gestión RSU (Chifari *et al.*, 2018).

Frente a esta realidad, ¿cómo debe enfrentar el Distrito Metropolitano de Quito el flujo de residuos sólidos urbanos provocados por el desperdicio de alimentos? El desperdicio de alimentos genera residuos orgánicos, responsables de la emisión de gases de efecto invernadero, como el metano, que contribuyen al cambio climático. Para el efecto este trabajo tiene como propósito: cuantificar el desperdicio de alimentos en el Distrito Metropolitano de Quito; caracterizar el metabolismo de la gestión de residuos sólidos

urbanos del Distrito Metropolitano de Quito y estimar la contribución de la gestión de RSU a las emisiones de gases de efecto invernadero. Lo que debe facilitar la búsqueda de alternativas de reducción de desperdicio de alimentos en torno a la minimización de emisiones de GEI en el relleno sanitario de Quito; convirtiéndose en un aporte novedoso de relacionamiento entre desperdicio y su posible incidencia en el relleno sanitario de Quito. En este sentido, se deja abierta la posibilidad de utilizar el presente estudio como insumo para futuras investigaciones.

MATERIALES Y MÉTODOS

El Distrito Metropolitano de Quito se convirtió en la ciudad más poblada de Ecuador con 2 781 641 habitantes en 2020. El gasto promedio mensual de alimentos en hogares se puede caracterizar: el decil 1 gasta en pan USD 9.63; en arroz USD 7.73; en papa chola USD 5.25; en frutas USD 5.83 y en hortalizas USD 4.72; mientras que el decil 10 gasta en los mismos alimentos USD 20.26; USD 13.98, USD 9.18; USD 23.64, USD 12.75 (INEC, 2013a). El consumo promedio de alimentos (g/día), en el país: 240 g de pan y cereales³, 183 g de frutas⁴ y verduras⁵, 129 g de raíces, tubérculos⁶ y plátanos, 181 g de lácteos y derivados⁷, entre otros (Freire *et al.*, 2014). Respecto a las características de vivienda y hogar, se reporta que el servicio de agua se obtiene principalmente de la red pública (99%); el 87% dispone

³ arroz, maíz, cebada, avena, trigo, harinas, pan, fideos, amaranto, quinua y similares.

⁴ manzana, naranja, tomate de árbol, sandía, piña, pera y similares.

⁵ brócoli, coliflor, tomate riñón, apio, lechuga, acelga, espinaca, zanahoria, vainitas y similares.

⁶ papa, yuca, plátanos, camote, melloco, nabo, zanahoria blanca y similares.

⁷ leche, yogur y queso.

de cocina en su hogar; el 63% tiene microondas y el 91% refrigerador (INEC, 2014). En el Distrito Metropolitano de Quito se recolectan diariamente alrededor de 1700 t de residuos urbanos donde se estima que el 63.4% proviene de hogares y 79.56% de mercados, según la consultora AsamTech (2019); proporciones significativas que provocan efectos ambientales negativos al relleno sanitario de la ciudad (Center for Clean Air Policy, 2018).

El método de investigación aplicado fue cuantitativo de tipo exploratorio (Gupta, 2013). Para cumplir con el primer objetivo, el diseño muestral se adaptó a las condiciones de emergencia sanitaria por el COVID-19. Por tanto, se utilizó un cuestionario en línea enviado a una base de datos de 18 000 registros aproximadamente. Dicho instrumento se diseñó usando la herramienta *Google Forms*, que una vez validado, se distribuyó en redes sociales (Facebook), aplicaciones de teléfonos móviles (WhatsApp) y correo electrónico (*mailing*). La aplicación del formato en línea fue una encuesta autoseleccionada, sin restricciones, de muestreo no probabilístico (Tourangeau *et al.*, 2013), por cuotas y realizadas del 23 de agosto al 3 de septiembre de 2021. Los criterios que se emplearon para incluir a los participantes en la muestra fueron: mayor de edad, residente en el Distrito Metropolitano de Quito y que lleve a cabo frecuentemente las compras de alimentos para el hogar o cocinen para los miembros de este.

El cuestionario tomó como base el trabajo de van Herpen *et al.* (2019) y se conformó por dos secciones, la primera con preguntas socio-demográficas (número de miembros del ho-

gar, zona geográfica de residencia, rangos de ingreso mensual, gasto semanal en alimentos, equipos (artefactos) y servicios (agua, luz, teléfono fijo e internet, que dispone el hogar). La siguiente sección recolectó información de cantidades de desperdicio de alimentos por grupos, como, por ejemplo, hortalizas (tomate, cebolla, etc.), frutas (bananas, manzanas, etc.); carnes; y por tipo específico de alimento, como arroz, pasta, pan y papa. Cabe señalar que los resultados de las cantidades de alimentos específicos se sometieron a factores de conversión, para obtener el peso del alimento crudo (Freire *et al.*, 2014; Hamelman, 2017).

En referencia al segundo objetivo, la información se tomó de fuentes secundarias, facilitada por la Empresa Pública Metropolitana de Aseo de Quito (comunicación personal, 2021); las cifras reportadas son del periodo enero-septiembre 2021 y pertenecen a la categoría de recolección indiferenciada: barrido, puntos críticos, mingas en mercados, residuos del hogar, comercio y servicios y mayores productores. Este insumo permitió articularlo con el trabajo de Chifari *et al.* (2018) para caracterizar el metabolismo de la gestión de residuos sólidos urbanos, a través de redes metabólicas, esto por medio de la identificación de generación de RSU de la sociedad (*nivel n+1*), lo que se convierte en insumo para las actividades del sistema de gestión de RSU (*nivel n*). Además, otros sistemas socio-ecológicos (*nivel n+2*) importan/exportan residuos hacia el nivel n. De su parte, el entorno local (*nivel n+1*) absorbe los flujos físicos eliminados y reutiliza el material (reciclaje y salidas útiles) del *nivel n*.

Análisis estadístico

Se aplicó el análisis de la varianza entre el número de miembros del hogar y la cantidad de desperdicio para cada una de las categorías de alimentos. A continuación, se empleó la autocorrelación espacial para determinar el comportamiento potencial de la cantidad de desperdicio de alimentos domésticos a través de un enfoque de estadística espacial. Para ello se calculó el estadístico *I Global de Moran* (Gimond, 2021), a través de la unión de un *shapefile*, (límites zonales generales del Distrito Metropolitano de Quito) y la suma acumulada de las categorías relevantes de desperdicio de alimentos. Para estas tareas se utilizaron principalmente los siguientes paquetes del software *R Studio* (R): *simple features* (Pebesma, 2018) y *spatial dependence* (Bivand y Wong, 2018). También se empleó el método

de *Monte-Carlo* (Bivand *et al.*, 2013) con 599 simulaciones, para el cálculo estadístico de autocorrelación espacial.

Estimación de emisiones de GEI en la gestión de residuos sólidos urbanos

Para la estimación de emisiones de GEI en la gestión de residuos sólidos urbanos se utilizó la herramienta SWM-GHG propuesta por Institut für Energie (2009). La calculadora sigue el método de análisis de ciclo de vida y permite la evaluación de diferentes estrategias para la gestión de residuos sólidos urbanos en términos de emisiones de GEI en la etapa temprana de toma de decisiones (Michel *et al.*, 2021). Para el cálculo de estos gases se conoce el uso del programa *Landfill Emission Model versión 3.02*, elaborado por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (Kumar y Sharma, 2014).

RESULTADOS Y DISCUSIONES

Se obtuvieron 570 respuestas, se procesaron 563 y se descartaron 7 por presentar inconsistencias. Los resultados respecto a las características sociodemográficas, disponibilidad de quipos y servicios reportados por la muestra de hogares, se presentan en la *tabla 1*.

Tabla 1. Descripción de la muestra.

	n	%
Ubicación del hogar en el Distrito Metropolitano de Quito		
Zona Norte	238	42.1
Zona Centro	44	7.8
Zona Sur	150	26.5
Valles	124	21.9
Otro	9	1.6
Número de miembros del hogar		
Uno	34	6.0
Dos	100	17.7
Tres	118	20.9
Cuatro	181	32.0
Cinco	91	16.1
Seis	26	4.6
Siete	8	1.4
Ocho	1	0.2

Ocho	4	0.7
Nueve	2	0.4
Diez	1	0.2
Ingreso mensual total de su hogar		
0 - 400 USD	45	8.0
401 - 800 USD	111	19.6
801 - 1200 USD	130	23.0
1201 - 1600 USD	104	18.4
2001 - 2400 USD	72	12.7
Más de 2400 USD	103	18.2
Gasto en alimentos para el hogar en una semana		
0 - 100 USD	253	44.8
101 - 200 USD	144	25.5
201 - 300 USD	73	12.9
301 - 400 USD	39	6.9
401 - 500 USD	27	4.8
Más de 500 USD	29	5.1
Equipos que dispone su hogar		
Cocina	564	99.8
Refrigerador	563	99.6
Microondas	467	82.7
Servicios que dispone su hogar		
Teléfono fijo	429	75.9
Internet	561	99.3

Fuente: Elaboración propia.

El análisis estadístico mostró que no existen diferencias significativas en las medias de número de miembros del hogar, al considerar la cantidad de desperdicio por cada categoría de alimentos (p -valores mayores al 5%). Por tanto, no se puede rechazar la hipótesis nula de diferencias entre el número de miembros del hogar y la cantidad media de desperdicio o no de alimentos por cada categoría; es decir, no existe una relación entre el número de miembros del hogar y la cantidad de desperdicio por categoría de alimentos. Este hallazgo contrasta con los trabajos de Stancu *et al.* (2016) que determinaron que las cantidades más bajas de desperdicio de alimentos se asociaron con menos miembros en el hogar; y que la canti-

dad de desperdicio por persona disminuye a medida que aumenta el tamaño del hogar (Herzberg *et al.*, 2020). Además, al comparar hogares unipersonales con hogares de pareja y familias, se encontró aproximadamente un 29 y 53% más de desperdicio de alimentos, respectivamente (Ananda *et al.*, 2021). Mientras que resultados similares se presentaron en los trabajos de Grasso *et al.* (2019) respecto al tamaño del hogar, edad, sexo, situación laboral y su pequeña influencia en la predicción de desperdicio de alimentos en hogares. Por lo tanto, en el presente estudio el *tamaño del hogar* no se podría considerar como una variable que tenga influencia en el desperdicio de alimentos.

Por su parte, el *comportamiento espacial* de la cantidad de desperdicio de alimentos en hogares determinó que, en todos los casos analizados mediante pruebas de hipótesis de dependencia espacial, los valores «p» obtenidos estuvieron por encima del nivel de significancia definido (en este caso 5%). Lo anterior se corroboró con el enfoque de simulación *Monte-Carlo*, que arrojó una conclusión similar para cada categoría relevante de desperdicio de alimentos. La hipótesis de aleatoriedad nula (los valores atribuidos se distribuyen aleatoriamente en el área de estudio) no puede rechazarse (ausencia de autocorrelación) al

obtenerse un valor «p» de 0.48. Por tanto, la variable *cantidad de desperdicio de alimentos* del presente estudio, en términos generales, no puede considerarse una variable regionalizada. En consecuencia, no es factible un análisis adicional de los indicadores locales de asociación espacial.

Cuantificación del desperdicio de alimentos

A continuación, en la *tabla 2* se presentan los resultados de las cantidades estimadas de desperdicio de la muestra, clasificados por categoría de alimentos.

Tabla 2. *Cantidades y proporción de desperdicio de alimentos por categoría.*

Categoría de alimentos	Arroz	Pasta	Papa	Hortalizas	Pan	Frutas	Carnes	Pescado	Leche	Total
Total desperdicio semana/hogares (kg)	12.33	8.60	18.44	30.83	15.59	40.90	19.40	16.32	39.11	201.51
Desperdicio semana/hogares (%)	6	4	9	15	8	20	10	8	19	100
Reportes desperdicio	346	221	282	392	306	398	176	159	225	
Promedio desperdicio/hogar (kg)	0.04	0.04	0.07	0.08	0.05	0.10	0.11	0.10	0.17	0.76
Total desperdicio estimado anual/hogares* (kg)	641	447	959	1603	810	2127	1009	848	2034	10 479

Nota: *Se considera para el cálculo 52 semanas.

Fuente: Elaboración propia.

Al comparar el desperdicio por categoría de alimentos, por ejemplo, entre cereales (arroz, pasta y pan) la cantidad más alta correspondió al pan con el 8%. En cuanto a hortalizas y frutas, la segunda categoría supera a la primera, con el 20%; en lo que respecta a carnes y pescado, las carnes tienen una proporción más alta con el 10%. Respecto a los resultados del análisis del desperdicio de manera individual, la papa obtuvo el 9% y la leche 19%. Sin em-

bargo, al analizar el reporte de desperdicio de alimentos, la cantidad de respuestas fueron: arroz 346, hortalizas y frutas 392 y 398 respectivamente; la carne obtuvo 176 y el pescado 159, la papa presentó 282 y la leche 225. Los promedios de desperdicio más representativos fueron la leche 174 g/hogar; carnes 110 g/hogar; frutas y pescado 103 g/hogar, cada uno. En relación con el cálculo del desperdicio/hogar/semana el valor más significativo

correspondió a las frutas, con 40.9 kg, le siguen las hortalizas con 30.83 kg.

La comparación de resultados de cuantificación de desperdicio de alimentos hay que tomarla con mucha discreción, ya que existen diferentes metodologías para cuantificar desperdicio de alimentos, así como definiciones que pueden incidir en los resultados (Withnage *et al.*, 2021). Sin embargo, estudios con resultados similares en cuanto a categorías de alimentos reportan mayor desperdicio en verduras frescas y ensaladas 30%, frutas frescas 17% y productos de panadería 13%; estos estudios consideraron los desperdicios de comida evitable y no evitable (Edjabou *et al.*, 2016); pan fresco 42.5%, frutas 29.9% y verduras 41.8% (Hanssen *et al.*, 2016); verduras y frutas 67%, pan, cereales y productos de pastelería 14% (Elimelech *et al.*, 2018).

En esta investigación se detectó que las cantidades más relevantes de desperdicio fueron frutas y hortalizas, lo que podría estar relacio-

nado con los resultados de la Encuesta Nacional de Salud y Nutrición en torno al consumo de dichas categorías de alimentos por parte de la población ecuatoriana, ya que dicho consumo no cumple con el requerimiento de 400 g/día, es decir, cinco porciones de frutas y verduras (Freire *et al.*, 2014). Otro aspecto importante es el gasto promedio mensual de los hogares quiteños en las categorías señaladas, clasificados por deciles, especialmente en frutas, puesto que se incrementa el gasto en relación con el decil, por ejemplo, el decil 1 gasta USD 5.83, y el decil 10 gasta USD 23.6 (INEC, 2013a). En relación con la cantidad de desperdicio de leche es de 19% y al ser un alimento líquido, la data de estimación es algo complicado obtenerla, debido al manejo de la unidad de medida del líquido.

A continuación, en la *tabla 3* se presentan los estadísticos descriptivos de cada una de las categorías de alimentos reportadas en la encuesta.

Tabla 3. Estadísticos descriptivos por categoría de alimentos.

Estadístico	Arroz	Pasta	Papa	Hortalizas	Pan	Frutas	Carne	Pescado	Leche
Media (g)	35.64	38.93	65.38	78.64	50.93	102.76	110.25	102.62	173.82
Mediana (g)	33.75	10.25	25.50	75.00	9.85	50.00	63.00	63.00	68.00
Total (g)	12 330	8603	18 437	30 825	15 585	40 900	19 404	16 317	39 110
Moda (g)	11.25	10.25	25.50	25.00	9.85	25.00	63.00	63.00	68.00
Desviación estándar (g)	34.73	75.31	66.75	79.02	113.12	120.75	97.25	104.55	209.27
Mínimo (g)	11.25	10.25	25.50	25.00	9.85	25.00	63.00	63.00	68.00
Máximo (g)	157.50	461.25	357.00	350.00	656.46	500.00	567.00	756.00	1500.00
Rango (g)	146.25	451.00	331.50	325.00	646.61	475.00	504.00	693.00	1432.00
Cuenta	346	221	282	392	306	398	176	159	225
Nivel de confianza (95%)	3.67	9.98	7.82	7.85	12.73	11.90	14.47	16.38	27.49

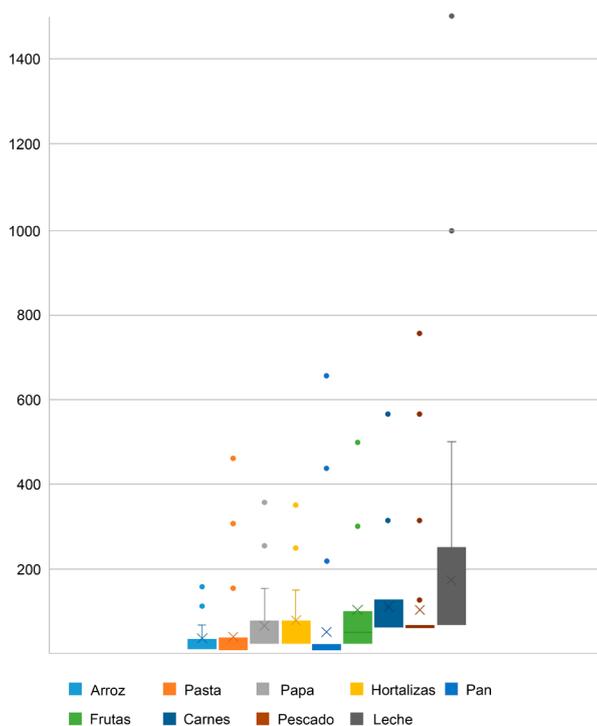
Fuente: Elaboración propia.

En la *tabla 3* se muestra que la media de desperdicio por categoría de alimentos mínima correspondió al arroz 35.64 g, en tanto que el promedio de leche es el más alto 173.82 g. En cuanto a la mediana, el pan obtuvo el mínimo valor 9.85 g y el más alto fue de la leche con 68 g. Los valores de las modas coincidieron con los valores mínimos de desperdicio de cada categoría de alimentos. Los rangos indicaron que el mínimo corresponde al arroz con 146.25 g y el más alto a la

leche, 1432 g. El estadístico *cuenta* mostró el número de reportes de desperdicio por categoría de alimentos, las frutas y hortalizas presentaron valores cercanos, 398 y 392 g respectivamente; luego se ubicó el arroz, el pan, y la papa con 346, 306 y 282 g respectivamente.

En la *figura 1* se pueden apreciar las cajas y bigotes por categorías de alimentos reportados como desperdicio.

Figura 1. Cajas y bigote por categorías de alimentos reportados.



Fuente: Elaboración propia.

En la *figura 1* se puede identificar que la mediana del desperdicio de hortalizas (75 g), está por encima del resto de categorías de alimentos; y la mediana del desperdicio del pan (9.85 g) está por debajo de las demás, lo que implica niveles de desperdicio mayor y menor para las categorías referidas. Los valores mínimos de desperdicio de alimentos coinciden con su primer cuartil (25%); y su segundo cuartil (50%), es decir, existe

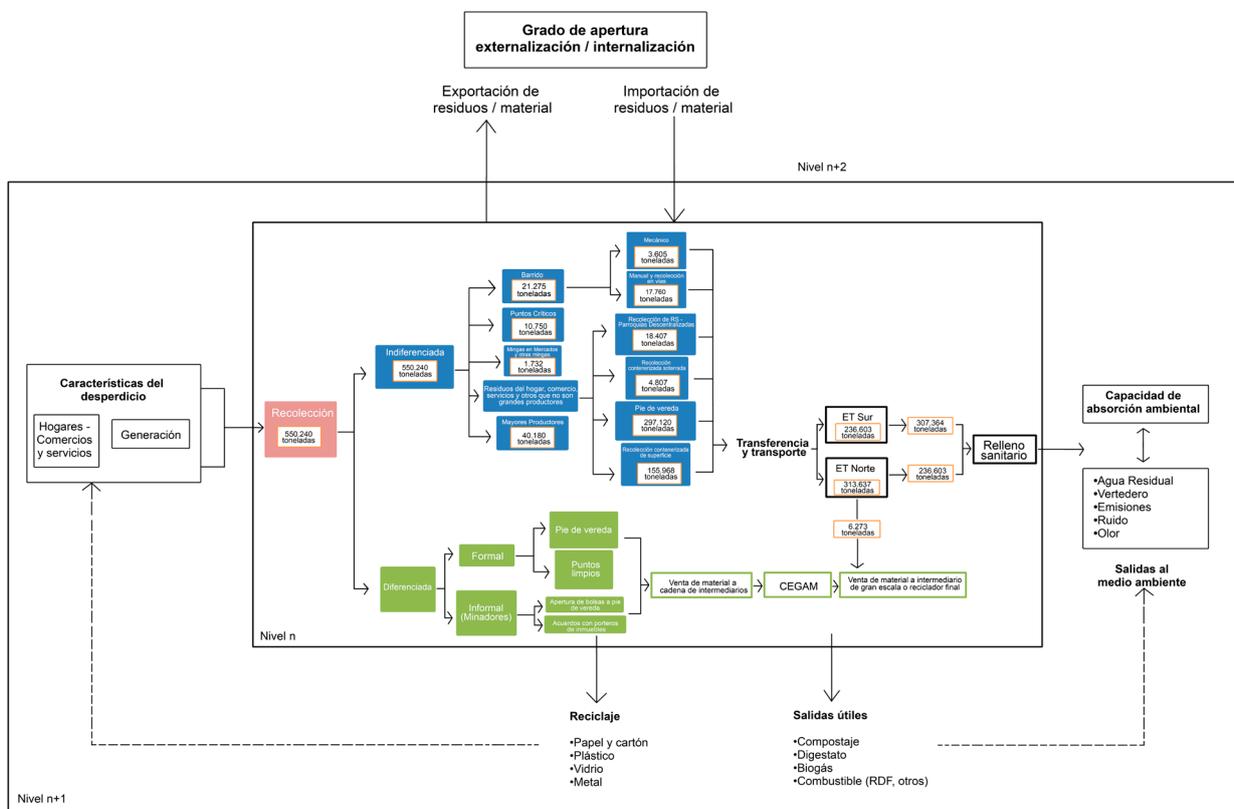
sesgo (asimetría positiva). La menor dispersión de datos asociados con el rango intercuartílico se presenta en el desperdicio de pan y pescado; lo contrario ocurre con el desperdicio de leche, donde la dispersión es mayor. Respecto a los valores atípicos, en todas las categorías se presentan estos; lo que implica que el comportamiento del consumidor respecto al desperdicio de alimentos por categoría no es simétrico;

encontrándose hogares que desperdician cantidades significativamente superiores a la mayor parte de la población muestreada para cada una de las categorías analizadas. El mayor sesgo se evidencia en el desperdicio de leche, por lo que podría aseverarse que la cantidad de desperdicio está sobreestimada, ya que es un líquido, y su estimación, por lo general, tiene dificultad e incertidumbre mayor.

Caracterización de la gestión de residuos sólidos urbanos

Para tener una representación de la generación de desperdicio en la gestión de RSU, a continuación, en la *figura 2* se puede observar un marco semántico (Chifari *et al.*, 2018) para caracterizar el metabolismo del sistema de gestión de RSU en el Distrito Metropolitano de Quito.

Figura 2. Representación de la gestión de residuos sólidos urbanos como red metabólica.



Fuente: Secretaría de Ambiente (2015) y EMASEO (2021).

La representación de la red metabólica de la *figura 2* muestra las etapas técnicas de la gestión de residuos sólidos urbanos en el Distrito Metropolitano de Quito. Debido a la falta de información, en este diagrama no se detalló la cantidad de generación de RSU y solo se diagramó la recolección diferenciada para comprender la integración de todas las etapas.

La *figura 2* caracterizó el sistema de gestión de RSU en el Distrito Metropolitano de Quito a través de tres niveles. En el *nivel n+1* se encuentra la sociedad generadora de RSU, que es el insumo para alimentar el nivel del sistema de gestión RSU, considerada como *nivel n*. El nivel en el que se importan/exportan los residuos corresponde al *n+2*. El *nivel n+1* absorbe los flujos que excreta

el sistema y reutiliza el material generado por el sistema de gestión RSU. La visión externa de la gráfica indica tres aspectos claves: el tipo de residuos destinado al reciclaje papel/cartón, plástico, vidrio, entre otros; el grado de apertura del sistema de acuerdo con las formas de residuos durante las etapas de recolección, procesamiento y disposición de residuos; el tipo de desechos y partículas contaminantes (sólidos, líquidos y gaseosos) que resultan del proceso de la gestión de RSU, conjuntamente con la capacidad de absorción ambiental.

En cuanto a la visión interna, se observan los distintos nodos funcionales del sistema de gestión de RSU: recolección, procesamiento y eliminación. La recolección es el punto de contacto entre el *nivel n* y el *nivel n+1*, identificándose los diferentes mecanismos de recolección diferenciada e indiferenciada. En cuanto al procesamiento, corresponde a las actividades internas en el sistema relacionadas con los flujos de residuos que son procesados en estaciones de transferencias, Centros de Educación y Gestión Ambiental y relleno sanitario.

El relleno sanitario, representa la interfaz entre el *nivel n* y el *nivel n+1*. En este sistema de gestión, respecto a la generación de RSU, no existe un programa generalizado de separación en origen, no obstante, posee un programa de gestión integral de residuos para modificar el comportamiento y mejorar el reciclaje en la comunidad. De igual manera en el *nivel n* se generan flujos que se devuelven a la sociedad en forma de reciclaje y se exportan fuera de los límites socio-ecológicos como subproductos; y salidas útiles como compostaje y biogás, que se exportan, por ejemplo, como abonos y electricidad para la red; unido a los que se escapan al ambiente a través de emisiones.

En el *nivel n+1*, ligado a la generación de residuos que provienen de las actividades que realiza la sociedad, si se asume la cantidad recolectada como cantidad generada de RSU, durante los meses de enero y septiembre de 2021 el volumen fue de alrededor de 550 240 t en todo el Distrito Metropolitano de Quito, lo que representó cerca de 0.68 kg/hab/día. Esta cifra es cercana a la que se produce en el país 0.73 y a países vecinos como Colombia 0.69 y Perú 0.75 kg/hab/día. Otros países de la región superan esta cifra, tal es el caso de Argentina 1.15, Brasil 1.04 y Chile 1.25 kg/hab/día (Grau *et al.*, 2015).

Durante el periodo de análisis, en el Distrito Metropolitano de Quito el flujo de RSU de nivel focal (*n*) inició con la recolección y finalizó con el depósito en el relleno sanitario. La recolección indiferenciada tuvo mayor concentración en el nodo de residuos del hogar, comercio, servicio, entre otros, con 476 302 t, dicha recolección estuvo compuesta en su mayoría por residuos recogidos a través del mecanismo de pie de vereda 297 120 t, en tanto que las mingas representaron la menor cantidad recolectada con solo 1 732 t. Respecto a la disposición de desechos en el relleno sanitario, la contribución más alta correspondió a la Estación de Transferencia Norte, un 30% mayor con relación a la Estación de Transferencia Sur. Se estimó que en conjunto ambas estaciones, en el año 2015, aportaron al relleno sanitario de Quito un caudal de 500 m³ de metano por hora a través del proyecto de captación de biogás (Secretaría de Ambiente, 2015).

En relación con las salidas del *nivel n*, se estimó que se retiraron de la Estación de Transferencia Norte alrededor de 6273 t, vinculadas al reciclaje, es decir, el 1.14% comparado con la recolección total de RSU en el Distrito Metropolitano de

Quito. El volumen de lixiviados de los cubetos ocho y nueve del relleno sanitario fue de 105 640 m³, en tanto que el volumen de lixiviados tratados, mediante plantas PTL, VSEP, aspersión y fitorremediación fue de 118 333 m³ (EMGIRS, 2021). Por su parte, según el grado de apertura (exportación e importación de desperdicio y material) el relleno sanitario recibió aproximadamente 34 018 t de residuos provenientes del cantón Rumiñahui (EMGIRS, 2021).

Estimación de emisiones de gases de efecto invernadero en la gestión de residuos sólidos urbanos

La caracterización del patrón metabólico identificado anteriormente puede complementarse a través de una estimación de las salidas al medio relacionada con emisiones de GEI. A continuación, en la *tabla 4* se muestran la estimación de emisiones de GEI respecto al reciclaje y disposición final en toneladas de CO₂-eq/año.

Tabla 4. Estimación de emisiones de GEI en la gestión de RSU

Datos preliminares		
Cantidad total de residuos ¹ (toneladas)	729 364	
Población estimada ²	2 951 917	
Kg/cápita/año	247	
Kg/cápita/día	0.68	
Composición del residuo	Valor (% peso húmedo)	Material seco reciclado⁸ (%)
Residuos de comida	35.7 ³	
Residuos de jardines y parques	35.7	
Papel, cartón	6.5 ⁴	67
Plásticos	9.0	14
Vidrio	1.6	13
Metales Ferrosos	0.5	6 ⁹
Aluminio	0.3 ⁵	
Textiles	1.2	
Hule, piel	0.3	
Pañales desechables	6.4 ⁶	
Madera	1.3	
Residuos Minerales	0.7 ⁷	
Otros	0.7	
Total	100	
Disposición final: Relleno sanitario con recolección de biogás	100	
Resultados emisiones de GEI por reciclaje y disposición final en t CO ₂ -eq/año	934 088	

Nota: ¹Estimación de residuos recolectados entre octubre-diciembre de 2021; ²Población estimada con base a proyecciones del INEC y consumo de agua en hogares de Quito; ³La mitad del % corresponde a residuos de comida y la otra a jardines y parques; ⁴Incluye tetra pack y otros materiales multicapa; ⁵Se consideraron metales no ferrosos; ⁶Se consideraron los desechos sanitarios; ⁷Se tomó como referencia los residuos inertes (pétreos y finos); ⁸Materiales recuperados en los Centros de Educación y Gestión Ambiental; ⁹Se consideró a la chatarra.

Fuente: ASAMTECH (2019); EMGIRS (2021); INEC (2013b) e Institut für Energie (2009).

La *tabla 4* muestra la estimación de emisiones de GEI de reciclaje y disposición final en t CO₂-eq/año con base en la herramienta de cálculo de GEI en la gestión de RSU. El porcentaje más significativo de la composición de residuos se encontró en los orgánicos (comida, jardines y parques) con 71.4%, seguido de los plásticos 9.0% y del papel y cartón 6.5%. Por su parte, el papel y cartón fueron los materiales mayormente recuperados en los Centros de Educación y Gestión Ambiental con un 67%. Las cifras reportadas por la herramienta estimaron que se enviaron 686 594 t/año de residuos al relleno sanitario, mientras que se reciclaron 42 770 t/año. Las emisiones evitadas por residuos reciclados representaron -46 305, en tanto que las emisiones por disposición final de residuos fueron de 934 088. El resultado neto de las cifras anteriores corresponde a la emisión de GEI de reciclaje y disposición, 934 088 t CO₂-eq/año. De acuerdo con lo mencionado por Malakahmad *et al.* (2017) el reciclaje se considera la opción más adecuada para reducir las emisiones GEI. De igual manera, los estudios de Turner *et al.* (2015) asociados con el reciclaje de componentes inorgánicos mostraron con cifras que se pueden evitar emisiones de GEI al reutilizar papel, vidrio, plástico, entre otros materiales.

La disposición de residuos en el vertedero del Distrito Metropolitano de Quito es aproximadamente 2 000 t/diarias y la composición orgánica representa la mayor cantidad de residuos. En este contexto, una posible solución para evitar saturar el vertedero son los sistemas alternativos de tratamiento de residuos mediante plantas de compostaje. Se estimó que la instalación de una planta de compostaje en el Distrito Metropolitano podría reducir las emisiones del sector entre 260 000 y 550 000 t de CO₂ eq en un periodo de 40 años,

acorde con la tecnología de tratamiento de residuos orgánicos utilizada (Center for Clean Air Policy, 2018).

CONCLUSIONES

La cuantificación de desperdicio evaluó las cantidades y tipos de alimentos que desechan los hogares del Distrito Metropolitano de Quito, destacándose las categorías de frutas y hortalizas. La importancia de identificar cantidades y tipos de alimentos desperdiciados se fundamenta en la provisión de data estimada, que permite desarrollar acciones potenciales de prevención y reducción de desperdicio de alimentos. La cantidad total de desperdicios estimada en todas las categorías de alimentos fue aproximadamente de 202 kg/semana, y el promedio de desperdicio por hogar de 0.76 kg/semana; lo que puede significar que se destinaron 202 kg/semana a la composición orgánica de los residuos sólidos urbanos, equivalente al 10% de la recolección diaria de estos residuos en el Distrito Metropolitano de Quito.

La caracterización de la gestión de residuos sólidos urbanos mostró un análisis multinivel de las etapas técnicas del sistema de gestión de dichos residuos, para identificar el patrón metabólico del sistema. Durante el periodo de análisis, el aporte total de los residuos señalados anteriormente fue de 543 967 t para el relleno sanitario y 6 273 t para reciclaje.

La estimación de emisiones de GEI en la gestión de residuos sólidos urbanos, se centró en el cálculo de reciclaje y disposición final, esto es 934 088 t CO₂-eq/año, lo que significó una cantidad importante de residuos orgánicos que no se estarían utilizando para salidas útiles como compostaje y biogás. De manera análoga podrían considerarse los materiales

secos, en torno a la disminución de emisiones de gases de efecto invernadero por medio de acciones dirigidas al reciclaje de residuos sólidos urbanos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abarca-Guerrero, L. A., Maas, G. y Hogland, W. (2013). Solid waste management challenges for cities in developing countries. *Waste Management*, 33(1), 220-232. <https://doi.org/f2zpp9>
- Ananda, J., Karunasena, G. G., Mitsis, A., Kansal, M. y Pearson, D. (2021). Analysing behavioural and socio-demographic factors and practices influencing Australian household food waste. *Journal of Cleaner Production*, 306. <https://doi.org/gnbxv>
- AsamTech. (2019). *Informe de la caracterización de residuos sólidos del Distrito Metropolitano de Quito* [Archivo PDF]. <https://t.ly/aJUT>
- Bivand, R. S. y Wong, D. W. S. (2018). Comparing implementations of global and local indicators of spatial association. *TEST*, 27, 716-748. <https://doi.org/ghpds6>
- Bivand, R. S., Pebesma, E. y Gómez-Rubio, V. (2013). *Applied Spatial Data Analysis with R* (2ª ed., Vol. 10). Springer. <https://t.ly/6lGW>
- Cadillo, J. (2015). *El uso de la gramática del MuSIASEM para el análisis cuantitativo de la sostenibilidad de los sistemas alimentarios* [Tesis de Doctorado, Universitat Autònoma de Barcelona]. Repositorio Institucional. <https://t.ly/wjr7>
- Center for Clean Air Policy. (2018). *High-level pre-feasibility study and implementation plan for an organic waste treatment project in the municipality of Quito*. Climate and Clean Air Coalition. <https://t.ly/nS5R>
- Chifari, R., Lo Piano, S., Bukkens, S. G. F. y Giampietro, M. (2018). A holistic framework for the integrated assessment of urban waste management systems. *Ecological Indicators*, 94(3), 24-36. <https://doi.org/ggksh>
- Dal' Magro, G. P. y Talamini, E. (2019). Estimating the magnitude of the food loss and waste generated in Brazil. *Waste Management & Research*, 37(7), 706-716. <https://doi.org/hp29>
- Edjabou, M. E., Petersen, C., Scheutz, C. y Astrup, T. F. (2016). Food waste from Danish households: Generation and composition. *Waste Management*, 52, 256-268. <https://doi.org/f8rbtb>
- Elimelech, E., Ayalon, O. y Ert, E. (2018). What gets measured gets managed: A new method of measuring household food waste. *Waste Management*, 76, 68-81. <https://doi.org/gdsc5p>

- Empresa Pública Metropolitana de Gestión Integral de Residuos Sólidos. (2021). *Estadísticas de la operación del relleno sanitario de Quito y estaciones de transferencia* [Archivo PDF]. <https://t.ly/BHbh>
- Fischer-Kowalski, M. y Haberl, H. (1998). Sustainable development: socio-economic metabolism and colonization of nature. *International Social Science Journal*, 50(158), 573-587. <https://doi.org/cqgx4s>
- Food and Agriculture Organization. (2021). *Código de conducta voluntario para la reducción de las pérdidas y el desperdicio de alimentos* [Conferencia]. 42º período de sesiones. <https://t.ly/eD4D>
- Freire, W. B., Ramírez-Luzuriaga, M. J., Belmont, P., Mendieta, M. J., Silva-Jaramillo, M. K., Romero, N., Sáenz, K., Piñeiros, P., Gómez, L. F. y Monge, R. (2014). *Encuesta Nacional de Salud y Nutrición de la población ecuatoriana de cero a 59 años* (Tomo 1). ENSANUT-ECU 2012. Ministerio de Salud Pública/Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. <https://t.ly/T74K>
- Gimond, M. (2021). *Intro to GIS and spatial analysis*. In Colby College. Github <https://github.com/mgimond/Spatial/blob/main/01-intro.Rmd>
- Godfray, H. C. J., Beddington, J. R., Crute, I. R., Haddad, L., Lawrence, D., Muir, J. F., Pretty, J., Robinson, S., Thomas, S. M. y Toulmin, C. (2010). Food security: the challenge of feeding 9 billion people. *Science*, 327(5967), 812-818. <https://doi.org/bhb6zw>
- Grasso, A. C., Olthof, M. R., Boevé, A. J., van Dooren, C., Lähteenmäki, L., y Brouwer, I. A. (2019). Socio-demographic predictors of food waste behavior in Denmark and Spain. *Sustainability*, 11(12), e3244. <https://doi.org/gk89dg>
- Grau, J., Terraza, H., Velosa, R., Milena, D., Rihm, A. y Sturzenegger, G. (2015). *Solid waste management in Latin America and the Caribbean*. Inter-American Development Bank. <https://t.ly/uSD->
- Gupta, D. (2013). *Research methodology*. PHI Learning Pvt. Ltd.
- Hamelman, J. (2017). *El pan: Manual de técnicas y recetas de panadería* (Trad. I. Yarzán). Libros con Miga.
- Hansen, O. J., Syversen, F. y Stø, E. (2016). Edible food waste from Norwegian households—Detailed food waste composition analysis among households in two different regions in Norway [Article]. *Resources, Conservation and Recycling*, 109, 146-154. <https://doi.org/f8k37k>

- Herzberg, R., Schmidt, T. G. y Schneider, F. (2020). Characteristics and determinants of domestic food waste: A representative diary study across Germany. *Sustainability*, 12(11), e4702. <https://doi.org/hp3c>
- Institut für Energie. (2009). *Tool for calculating Greenhouse Gases (GHG) in solid waste management (SWM)*. KfW Bankengruppe. <https://t.ly/TtEn>
- Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2013a). *Encuesta nacional de ingresos y gastos en hogares urbanos y rurales 2011 – 2012 (ENIGHUR)*. <https://t.ly/n6lb>
- Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2013b). *Proyecciones poblacionales*. <https://t.ly/aau->
- Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2014). *Encuesta de condiciones de vida 2013-2014*. <https://t.ly/6HOK>
- Kaza, S., Yao, L., Bhada-Tata, P. y Van Woerden, F. (2018). *What a waste 2.0: a global snapshot of solid waste management to 2050*. World Bank. <https://t.ly/kX9M>
- Kumar, A. y Sharma, M. P. (2014). Estimation of GHG emission and energy recovery potential from MSW landfill sites. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 5, 50-61. <https://doi.org/gmxnxb>
- Malakahmad, A., Abualqumboz, M. S., Kutty, S. R. M. y Abunama, T. J. (2017). Assessment of carbon footprint emissions and environmental concerns of solid waste treatment and disposal techniques; case study of Malaysia. *Waste Management*, 70, 282-292. <https://doi.org/hp3d>
- Michel, P. S., Agamuthu, P., Mehran, S. B., Santha, C. y Fauziah, S. H. (2021). Implications of municipal solid waste management on greenhouse gas emissions in Malaysia and the way forward. *Waste Management*, 119(1), 135-144. <https://doi.org/hp3b>
- Naciones Unidas. (2018). *World Urbanization Prospects. The 2018 Revision*. <https://t.ly/EwX2>
- Pebesma, E. (2018). Simple features for R: standardized support for spatial vector data. *The R Journal*, 10(1), 439-445. <https://doi.org/gf2ztt>
- Porter, S. D., Reay, D. S., Higgins, P. y Bomberg, E. (2016). A half-century of production-phase greenhouse gas emissions from food loss & waste in the global food supply chain. *Science of the Total Environment*, 571(15), 721-729. <https://doi.org/f84kf2>

- Secretaría de Ambiente. (2015). *Plan Maestro de Gestión Integral de Residuos del Distrito Metropolitano de Quito*. INECO/Tragsatec/Alcaldía de Quito. <https://bit.ly/3xRVZDH>
- Stancu, V., Haugaard, P. y Lähteenmäki, L. (2016). Determinants of consumer food waste behaviour: Two routes to food waste. *Appetite*, 96(1), 7-17. <https://doi.org/f7473k>
- Tourangeau, R., Conrad, F. G. y Couper, M. P. (2013). *The science of web surveys*. Oxford University Press.
- Turner, D. A., Williams, I. D. y Kemp, S. (2015). Greenhouse gas emission factors for recycling of source-segregated waste materials. *Resources, Conservation and Recycling*, 105, 186-197. <https://doi.org/f764pc>
- United Nations Environment Programme. (2021). *Food Waste Index Report 2021*. <https://t.ly/IWGv>
- van Herpen, E., van Geffen, L., Nijenhuis-de Vries, M., Holthuysen, N., van der Lans, I. y Quested, T. (2019). A validated survey to measure household food waste. *MethodsX*, 6, 2767-2775. <https://doi.org/hp3f>
- Withanage, S. V., Dias, G. M. y Habib, K. (2021). Review of household food waste quantification methods: Focus on composition analysis. *Journal of Cleaner Production*, 279(10). <https://doi.org/gkqzqm>
- Zambrano-Monserrate, M. A., Ruano, M. A. y Ormeño-Candelario, V. (2021). Determinants of municipal solid waste: a global analysis by countries' income level. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 62421–62430. <https://doi.org/hp28>