

REVISTA CIENTÍFICA

CIENCIAS NATURALES Y AMBIENTALES

ISSN: 2773-7772/ Volumen 18 (1) Junio 2024



ÁREA CIENCIAS DE LA VIDA

Facultad de Ciencias Naturales
Universidad de Guayaquil

Responsable Editora

Dra. Carmita Bonifaz de Elao, MSc. (Universidad de Guayaquil,Ecuador).

Comité Ejecutivo

PhD. Francisco Morán Peña, Universidad de Guayaquil, Ecuador
Rector de la Universidad de Guayaquil
PhD. Sofía Lovato Torres, Universidad de Guayaquil, Ecuador
Vicerrectora Académica de la Universidad de Guayaquil
PhD Amalin Ladayse Mayorga, Universidad de Guayaquil, Ecuador
Decana de Investigación, Postgrado e Internacionalización de la Universidad de Guayaquil
PhD. Alfonso Guijarro, Universidad de Guayaquil, Ecuador
Editor General de Revistas de la Universidad de Guayaquil
MSc. Jenny Rosero Lozano, Universidad de Guayaquil, Ecuador
Decana Facultad de Ciencias Naturales
MSc. César Oswaldo Fuentes Campuzano, Universidad de Guayaquil, Ecuador
Subdecano Facultad de Ciencias Naturales

Consejo Editorial

MSc. Xavier Cornejo Sotomayor (Universidad de Guayaquil, Ecuador)
PhD. Beatriz Pernía Santos (Universidad de Guayaquil, Ecuador)
MSc. Ariel Escobar Troya (Universidad de Guayaquil, Ecuador)
Ph.D. Priscila Valverde Armas (Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador)
Ph.D. Ever Morales Avendaño (Universidad Técnica de Manabí)
Ph.D Javier Oswaldo Soto Valenzuela (Universidad Estatal Peninsula de Santa Elena, Ecuador)

Comité Científico Internacional

PhD. Claes Persson, (Departamento de Biología y el Medio Ambiente, University of Gothenburg, Suecia)
PhD. Eulogio Chacón Moreno (Universidad de Mérida, Venezuela, Instituto de Ciencias Ambientales y Ecológicas -ICAE)
PhD. Jaime R. Cantera-Kintz (Departamento de Biología, Facultad de Ciencias Naturales y Exactas, Universidad del Valle, Cali, Colombia)
PhD. Bertil Stahl, (Departamento de Biología, Gotland University, Suecia)
PhD. María Eugenia Rondón (Universidad de Mérida, Venezuela, Instituto de Química)

Traducción

MSc. Xavier Cornejo Sotomayor (Universidad de Guayaquil, Ecuador)

Coordinación Editorial

Jessy Santana Pincay

Impresión y acabados

Imprenta de la Universidad de Guayaquil

Bianálisis de la situación actual y prospectiva de los biocombustibles en México

Bianalysis of the current and prospective situation of biofuels in Mexico

Luis Ángel Alamilla-Escamilla¹ & Juan Manuel Rivera-Ramírez²

¹ Escuela Superior de Apan-Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo (UAEH). Carretera
Apan-Calputalpan s/n, Colonia, 43920 Chimalpa Tlalayote, Hgo. México.

² Escuela Superior de Apan-Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo (UAEH).

Recibido 10 febrero 2024, recibido en forma revisada 10 abril 2024, aceptado 10 de mayo 2024, en línea 30 de
junio 2024.

Resumen

Los biocombustibles son definidos como carburantes provenientes de materia orgánica como la biomasa y residuos orgánicos los cuales son aprovechables como combustibles en los motores de combustión interna; están clasificados en primera, segunda, tercera y cuarta generación, esto de acuerdo con la materia prima de la cual provienen y de las técnicas empleadas para su obtención. Una de las principales ventajas es que se catalogan dentro de las energías renovables y las de menor emisión de gases de efecto invernadero (GEI) al ambiente, sin embargo, una desventaja es el costo de la infraestructura para su producción. El objetivo de la presente investigación fue generar un estado del arte a través de motores de búsqueda convencionales, así como académicos para determinar y analizar el contexto actual en México en relación con el uso y producción de biocombustibles. Los resultados indican una escasa elaboración que se mantiene a la par de las ventas; al realizar un análisis de las causas de estos bajos niveles, resaltan las licitaciones fallidas, las cuales tenían como objetivo introducir alcohol etílico anhidro en las gasolinas que comercializa la paraestatal Petróleos Mexicanos (PEMEX), por ello se ha determinado que las acciones necesarias para invertir la situación dependen de las autoridades competentes como la cámara de diputados, los inversionistas y un cambio sustancial en las políticas energéticas mexicanas.

Palabras clave: Biomasa, Combustible, Diesel, Residuo.

Abstract

Biofuels are defined as fuels from organic matter such as biomass and organic waste which can be used as fuel in internal combustion engines; They are classified into first, second, third and fourth generation, according to the raw material from which they come and the techniques used to obtain them. One of the main advantages is that they are classified as renewable energies and those with the lowest emission of greenhouse gases (GHG) into the environment; however, a disadvantage is the cost of the infrastructure for their production. The objective of this research was to generate a state of the art through conventional search engines, as well as academics to determine and analyze the current context in Mexico in relation to the use and production of biofuels. The results indicate a low production that remains on par with sales; When carrying out an analysis of the causes of these low levels, the failed tenders stand out, which had the objective of introducing anhydrous ethyl alcohol in the gasoline sold by the parastatal Petróleos Mexicanos (PEMEX), therefore it has been determined that the actions necessary to invest The situation depends on the competent authorities such as the Chamber of Deputies, investors and a substantial change in Mexican energy policies.

Key words: Biomass, Fuel, Diesel, Residue.

Introducción

Ya en el siglo XVIII el economista y demógrafo británico Thomas Malthus, enunciaba que la población humana aumenta de forma exponencial, en tanto los

recursos naturales lo hacen en progresión aritmética. De ahí que el autor refiera que el aumento de la población mundial supone un incremento en el consumo de recursos materiales, los cuales son finitos y escasos por eso a medida que pasa el tiempo, menos recursos tendrá a su disposición cada individuo para

* Correspondencia del autor:

E-mail: psicoclin.juma90@gmail.com



Esta obra está bajo una licencia de creative commons: atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0. Los autores mantienen los derechos sobre los artículos y por tanto son libres de compartir, copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra.

asegurar su supervivencia (Malthus, 1798). Esto puede ocurrir y en efecto ocurre, particularmente en el ámbito energético, ya que en la época actual con sus subsiguientes cambios se construyen, generan y desarrollan herramientas tecnológicas con el objetivo de alcanzar mayores niveles de bienestar, pese a que la disponibilidad de los recursos energéticos necesarios para efectuar tales acciones es cada vez menor (Castro et al, 2012).

Históricamente, los combustibles fósiles han impulsado al ser humano en la búsqueda de nuevas tecnologías para el uso oportuno de la energía generada por estos. El resultado de su empleo desmedido ha provocado un daño ambiental que en la actualidad ha alcanzado niveles insostenibles y que amerita diversos correctivos. Por ello, en la segunda mitad del siglo XX se pudo observar el surgimiento de un grupo de fuentes energéticas más amigables con el ambiente y en la mayoría de los casos renovables y sustentables, tales como la radiación solar directa, la hidráulica, la eólica, la undimotriz, la mareomotriz, la obtenida de la biomasa, entre otras. Por esto hoy día existe una indagación constante sobre las formas en las que se pueden aprovechar estas alternativas energéticas para que sean tecnológicamente viables y a nivel financiero sean atractivos (Posso, 2022).

A su vez, el mundo atraviesa una crisis energética ocasionada por la dependencia de los combustibles fósiles, que son energías no renovables y los principales causantes de las emisiones de gases de efectos invernadero (GEI) provocando con ello el desgaste de la capa de ozono. México enfrenta dicha problemática debido principalmente a que emplea productos derivados del petróleo ocasionando una falta de carburantes y por ende una disminución en las extracciones de petróleo crudo. Asimismo, el exponencial consumo de energéticos ha llevado a que estos se agoten más rápido, por ello es urgente la búsqueda de fuentes de energía alternas que permitan atender las demandas de consumo de la creciente población mexicana.

Al respecto, tan solo en la nación los miles de barriles diarios (Mbd) generados han disminuidos notoriamente

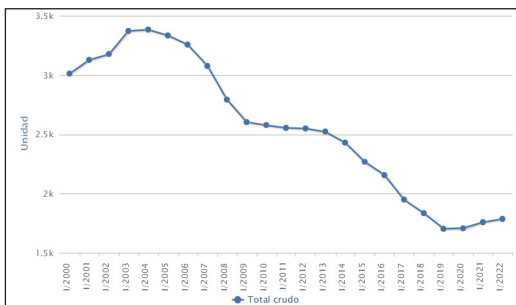


Figura 1. Producción de petróleo crudo 2000-2022. Nota. Adaptado del Sector Energético, de SENER, s.f., <https://sie.energia.gob.mx/bdiController.do?action=cuadro&cvluca=PMXB1C02>

en los últimos años como se puede apreciar en la figura 1, en el año 2000 se obtuvieron un promedio anual de 3,012 Mbd, para el 2010 se redujo a 2,577 Mbd y en el 2022 tan solo se obtuvo una media de 1,785 Mbd, siendo en el 2019 el valor más bajo registrado en los últimos 22 años con un promedio de 1,701 Mbd (Secretaría de Energía [SENER], s.f.a).

A la vez que la producción de petróleo disminuye, el consumo energético tiene a aumentar como se puede apreciar en la Figura 2. En la República Mexicana los registros muestran un gasto energético de 3, 830 PetaJoules (PJ) en el año 2000, para el 2010 ascendió a 4,708 PJ, en 2019 incrementó a 4,760 PJ y en el 2021 aumentó a 5,357 PJ (SENER, s.f.b). Es pertinente referir que estos consumos son la sumatoria de diversas actividades, en el 2019 se reportaron por sector los valores de 42.57% para transportes, 33.37% industrial, 15.73% residencial, 4.03% agropecuarios, 3.59% comercial y 0.60% público (SENER, s.f.b).

Por ende la fuente energética más empleada en el país es de origen fósil, esto es un problema debido a que la quema de los combustibles derivados del petróleo incorpora a la atmósfera gases que atrapan el calor en la misma y por ello son denominados “gases de efecto invernadero” (GEI) tales como dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O) por mencionar algunos (Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos [EPA], 2023); algunas de sus propiedades son el absorber y reemitir la radiación a la superficie terrestre provocando el incremento de la temperatura global, fenómeno denominado “efecto invernadero” (Trespalacios et al., 2018). De acuerdo con el “Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero (INEGYCEI)” que realiza el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático ([INECC] 2023), México despidió 736 miles de toneladas de bióxido de carbono equivalente (Mt CO₂e) de GEI como lo muestra la tabla 1. Del total de las emisiones, 63% corresponden al uso de energéticos fósiles; 14% se originaron por actividad ganadera; 10% resultaron de procesos industriales; 7% se expulsaron de residuos; 4% por las emisiones generadas por la quema de biomasa y actividades de agricultura. De acuerdo con las cifras anteriores el GEI más relevante emitido fue el dióxido de carbono ocupando el 40%,

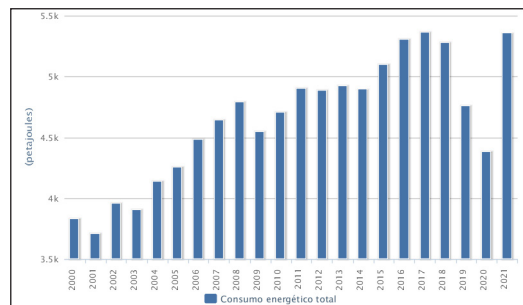


Figura 2. Consumo energético total 2000-2021. Nota. Adaptado del Sector Energético, de SENER, s.f., <https://sie.energia.gob.mx/bdiController.do?action=cuadro&cvluca=IE7C02>

Tabla 1. Toneladas métricas de dióxido de carbono equivalentes.

Sector	Emisiones (Mt CO ₂ e)
Energía	467
Ganado	110
Transformación industrial y utilización de Productos	73
Residuos	54
Fuentes anexadas y de emisión no CO ₂ de la tierra	30
Total (sin tierra)	734
Tierra	-192
Total (con tierra)	542

Nota. La tabla contiene el número de emisiones por sector, para un mejor manejo los datos fueron redondeados. Adaptado de *Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero (INEGYCEI) 1990-2019* [Archivo de Excel], Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático [INECC], 2023, <https://tinyurl.com/y9wemf76>

seguido por el metano con 23% (INECC, 2023).

Ante la evidente crisis energética y ambiental que México enfrenta una de las alternativas pudiese recaer en la producción de bioenergéticos, entre los que podemos hablar de cuatro generaciones de los mismos. Cabe resaltar que estos tienen como principal ventaja una notable disminución en la emisión de GEI al utilizar bióxido de carbono (CO₂) en la fijación de biomasa y que el origen de esta determina la generación a la cual pertenece el producto. Con ello, la primera generación de biocombustibles emplea cultivos alimenticios, de acuerdo con Valdés y Palacios (2016) su producción a partir especies vegetales destinadas a la alimentación genera un aumento en los precios, tales como en el caso del maíz y la azúcar proveniente de la caña. No obstante, y a decir de los precedentes autores, los impactos ambientales adversos producidos en el transcurso del proceso de cultivo y elaboración, superan los beneficios de la reducción de emisiones de GEI.

Por otro lado, autores como Hirani et al (2018) definen a los bioenergéticos de segunda generación como aquellos elaborados a partir de materias primas no alimentarias. Acorde con ello, estos biocombustibles no competirán con los cultivos alimentarios, o en su caso lo harán en menor medida, destacando que los residuos de cultivos agrícolas y otras especies vegetales no destinadas a cultivos se producirán exclusivamente para la producción de bioenergía. En tanto, los biocarburantes de tercera generación se obtienen a partir de seres capaces de elaborar

su propio alimento a partir de la fotosíntesis, entre ellos las algas, mismas que pueden ser cultivadas en biorreactores fotoquímicos o en piletones al aire libre (Ramos et al, 2016). Finalmente, la cuarta generación de biocombustibles propone utilizar organismos genéticamente modificados, sin embargo, estos aún se encuentran en la fase de investigación. Por ello, la materia prima es procesada mediante diferentes técnicas con la finalidad de obtener bioetanol y biodiesel.

Como ya se mencionó, las fuentes a partir de las cuales se producen los biocarburantes pueden presentar diversas ventajas y desventajas, entre las más apremiantes se podría citar el consiguiente riesgo para la seguridad alimentaria nacional al desplazar los cultivos básicos alimentarios o emplearlos para atender las necesidades energéticas, por lo que actualmente mejorar las técnicas de producción supone grandes costes económicos y retos a nivel de investigación e infraestructura.

Por todo lo expuesto el objetivo general del presente análisis fue describir a profundidad las problemáticas y posibles beneficios que cada generación de biocombustibles presenta con la finalidad de alcanzar una producción sustentable en México sin que se afectan las necesidades alimenticias básicas de la población y que se respeten los ciclos propios de la naturaleza. En esta dirección, es necesario analizar el estado actual de los bioenergéticos a nivel mundial y en la República Mexicana, enfatizando las acciones gubernamentales para su producción y comercialización con la intención de poner sobre la mesa dicha alternativa y paliar el problema energético que el país enfrenta.

Metodología

El presente estudio es de carácter cualitativo y de tipo documental, ya que se realizó una búsqueda exhaustiva de información empleando Google académico, Google convencional, así como paginas oficiales del gobierno mexicano; analizando en su mayoría trabajos que abordaran la temática para el caso particular de México y que no sobrepasaran los diez años de antigüedad, no obstante, debido a que determinadas fuentes presentaban información invariable, se optó por la elección de algunas más antiguas. Asimismo, las categorías de análisis empleadas fueron “Bioenergía”, “Biocombustibles”, “Biocombustibles en México” y “Energías alternativas”; Los artículos seleccionados fueron descartados en base al resumen e introducción, ya que estos debían abordar ventajas, desventajas, en cuanto a los documentos oficiales de gobierno se optó por utilizar las versiones más recientes.

Resultados

Dadas las circunstancias para obtener los combustibles fósiles estos están catalogados como recursos no renovables. De acuerdo con SGM (2023) los principales

combustibles utilizados en el mundo provienen del petróleo como nafta, keroseno, combustóleo, gasolina y diésel. Es preciso referir que los consumos en 2021 (véase figura 3) fueron de 5,335 Mbd para keroseno, 6710 Mbd de combustóleo, 6829 Mbd de nafta, 23,238 Mbd de gasolina, 26,936 Mbd de diésel y 25,037 Mbd de otros (BP plc, 2023).

Al utilizar como fuente energética primaria un recurso no renovable el planeta se encuentra al límite de un colapso en dicha materia, ello porque las principales fuentes de energía son limitadas, a lo que cabe sumar una demanda en constante aumento. En esta dirección las estadísticas muestran que las necesidades energéticas en todo el planeta crecerán alrededor de un 50% en 2025 (Midttun et al., 2017).

Por otro lado, la potencial alternativa que representan las energías renovables radica en que tienen la particularidad de regenerarse más rápido pues derivan de la naturaleza (Organización de las Naciones Unidas [ONU], s.f.). De acuerdo con Salinas y Gasca (2009) dentro de estas energías renovables se encuentran los biocombustibles, que como ya se indicó se derivan de la biomasa, es decir, de cualquier tipo de material orgánico proveniente de procesos biológicos de organismos vivos, como plantas o estiércol; este concepto incluye productos de origen vegetal y animal. Aunque, actualmente el aprovechamiento de la biomasa como fuente de energía es una opción alentadora para contrarrestar la crisis energética, resaltando que algunos tipos de biocombustibles están en uso desde hace más de un siglo.

Generaciones de biocombustibles, ventajas y desventajas

Biocombustibles de primera generación

Estos se obtienen de cultivos agrícolas como la caña de azúcar, la remolacha o la melaza; cereales como el trigo, la cebada o el maíz para generar bioetanol:

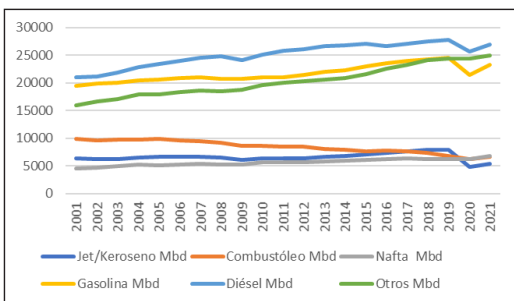


Figura 3. Consumo de combustibles en el mundo de 2001-2021. Nota. Gráfico que muestra una comparación del consumo de combustibles a través de los años. El keroseno su uso es en estufas domésticas y equipo industrial, el combustóleo es usado en calderas industriales, la gasolina es utilizada en motores de combustión interna, el diésel es usado para consumo de autobuses y camiones. Adaptado de *Revisión estadística de la energía mundial*, de BP plc, 26 de junio de 2023, <https://tinyurl.com/wu44a8ky>

o aceites como la palma o el girasol para producir biodiesel (Asociación Española de Operadores de Productos Petrolíferos [AOP], 2021). El biodiesel es un bioenergético en fase líquida, este se compone de ésteres monoalquílicos de ácidos grasos de larga cadena derivados de grasas renovables, por otro lado, el bioetanol es un alcohol producido al fermentar la materia vegetal (Romero, 2010). Una de sus ventajas es que se mostraron prometedoras al reducir la dependencia de los carburantes convencionales y minimizar la emisión de GEI asociadas con su combustión (Naqvi, 2015).

Sin embargo, el utilizar como materia prima cultivos alimentarios puede repercutir en la seguridad y soberanías alimentarias del país (Planas, 2022). A causa de esto se puede determinar que los biocombustibles de primera generación representaron un avance en materia de producción de energías renovables, pero a la vez un retroceso en la búsqueda de la seguridad alimentaria mundial ya que se provoca la competencia con el cultivo de alimentos, por ende un aumento en los costos de los mismos, lo que tiende a generar repercusiones adversas a la economía de los países en vías de desarrollo como es el caso de México y otros de América Latina (Naylor & Higgins, 2018).

Tan solo en 2019 se destinaron 170 millones de toneladas de maíz para producción de bioenergéticas, siendo Estados Unidos, Canadá, Argentina y varias naciones de la Unión Europea donde se produjo bioetanol a partir de esta materia prima. Por otro lado, teniendo como materia prima la caña de azúcar, se utilizaron 370 millones de toneladas en la producción de bioetanol, destacando en ello Brasil, Paraguay, Colombia, Argentina y varios países de la Unión Europea (Torraba, 2020).

Biocombustibles de segunda generación

Son también denominados como combustibles derivados de materia seca vegetal, estos tienen un alto potencial al ser una opción viable energética y ambientalmente (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria [INTA], 2019), ya que la biomasa no es proveniente de cultivos destinados para alimento; esto resulta ser ventajoso en el cuidado del medio debido a la utilización de residuos principalmente compuestos de biomasa lignocelulósica; esta se compone de celulosa y lignina, componentes estructurales de las plantas y la madera (Ganguly et al., 2021).

Por lo que se utiliza como materia prima residuos forestales, agrícolas y urbanos, asimismo los lodos de depuradoras. En tanto las técnicas utilizadas para la obtención de bioetanol son torrefacción, licuación, pirolisis y gasificación, en cuanto a la elaboración de biodiesel los métodos más utilizados son pirolisis, micro emulsiones, transesterificación, además de la utilización de fluidos supercríticos como solventes (Cortés et al., 2019). Pese a ello, las técnicas empleadas aún enfrentan desafíos significativos para su producción a gran escala, tales como la falta de tecnologías eficientes y económicas, la necesidad

de grandes cantidades de biomasa y procesos de producción más sostenibles en materia del uso de energía y agua (Ganguly et al., 2021).

Biocombustibles de tercera generación

Tal y como se indicó al principio del presente escrito, estos biocombustibles son producidos por medio de cultivos acuáticos, como lo son micro y macroalgas, así como cianobacterias. Entre sus ventajas podemos encontrar sus altos rendimientos de crecimiento y su elevado potencial energético. Además, es posible modificarles genéticamente para aumentar los rendimientos y cualidades benéficas (Sinche, 2022). Las microalgas son microorganismos que habitan en ecosistemas acuáticos, así como en terrestres presentando por ello una amplia diversidad de especies siendo tres los elementos primordiales para su desarrollo: luz solar, agua y alguna fuente que proporcione carbono. Como insumo para la producción de biocarburantes son cautivadores ya que poseen una tasa de adherencia de CO₂ más grande en comparación con los cultivos convencionales, por lo que almacenan el carbono en forma de grasas y azúcares para la elaboración de biodiesel y bioetanol (Sinche, 2022).

En cuanto a los productos obtenidos a partir de su procesamiento las microalgas son empleadas generalmente para la generación de biodiesel en tanto de las macroalgas se obtiene bioetanol (Alonso Gómez & Bello Pérez, 2018). Finalmente, para lograr un adecuado aprovechamiento de dichos insumos es necesario contar con una biorrefinería adecuada, lo que actualmente sigue implicando un costo de inversión mayor (Armas et al., 2019).

Biocombustibles de cuarta generación

Por medio de ingeniería se generan microorganismos modificados genéticamente a partir de los cuales se producen bioenergéticas (Shokravi et al., 2021). Sin embargo, aún se encuentran en sus etapas iniciales, por lo que todavía existen importantes desafíos. Uno de ellos es el costo y la complejidad de la ingeniería genética y la producción a gran escala de microorganismos modificados genéticamente (Abdullah et al., 2019).

Tecnología en la producción de biocombustibles

La refinación de procesos en la extracción de biocombustibles es necesaria para aumentar los rendimientos y reducir los costes, por ello en las últimas décadas se han experimentado una serie de cambios al respecto (Ambaye et al., 2021). Tomando en cuenta la multiplicidad presente en las materias primas es necesario desarrollar diversas tecnologías (véase figura 4), por ello, enseguida se describen de manera breve algunas de las principales técnicas a través de las cuales es posible la producción de biocombustibles.

Fermentación. Se emplean microorganismos para descomponer la materia prima, generalmente se usan en la elaboración de biocarburantes de primera

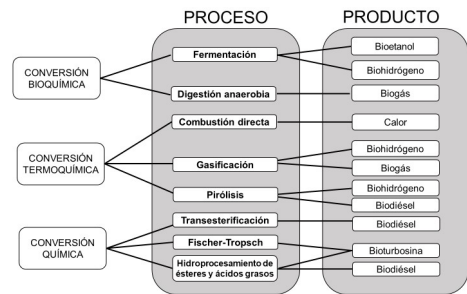


Figura 4. Procesos básicos de la transformación de la biomasa. Nota. Adaptado de Sánchez (2021)

generación, aunque también es utilizada en los de segunda generación (Ganguly et al., 2021).

El hidroprocesamiento de ésteres y ácidos grasos (HEFA) consiste en un procedimiento químico, el cual es empleado en la elaboración de bioturbosina y biodiésel a partir de aceites vegetales y grasa animal. (Sánchez, 2021).

Biorrefinerías. Son instalaciones que incorporan diversos procedimientos de transformación de biomasa, así como productos químicos y materiales avanzados. En lugar de producir un único producto, como los biocombustibles de primera generación, las biorrefinerías aprovechan la diversidad de la biomasa para producir una mayor diversidad de mercancía y reducir el desperdicio (Hingsamer & Jungmeier, 2019).

Enzimas y microorganismos modificados genéticamente. Se han desarrollado enzimas que mejoran la descomposición de la celulosa. De igual forma, microorganismos capaces de producir biocombustibles directamente a partir de la luz solar y el CO₂ atmosférico, lo que podría aumentar la sostenibilidad de los biocombustibles (Wen et al., 2009).

Pirólisis y gasificación. La pirólisis es una tecnología que utiliza calor para descomponer la biomasa en gases y líquidos, se puede producir una amplia gama de biocombustibles, incluyendo bio-oil, biochar y gas de síntesis. En el caso de la gasificación se usa calor y vapor para fragmentar la biomasa en un gas sintético el cual puede ser utilizado directamente como combustible o convertido en otros biocombustibles como metanol y dimetil éter (Weldekida et al., 2018). Fischer-Tropsch, transforma el gas de síntesis en hidrocarburos de largas cadenas, estos con alto valor agregado, como la bioturbosina, diésel verde, nafta y otros productos (Araujo-Ferrer, et al., 2013)

México y los biocombustibles

En el caso de la República Mexicana existe la Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos (LPDB), la cual fue publicada el primero de febrero de 2008, misma que fue diseñada para regular la elaboración, distribución y comercio de biocarburantes en el país, así como promover la investigación en universidades e instituciones de educación superior, así como generar

empleos al reactivar al sector rural mediante cultivos de aprovechamiento forestal, aunque en la misma se resalta el no poner en riesgo la seguridad y soberanía alimentaria (Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos [LPDB], 2008).

Acorde a lo establecido en la LPDB entre los años 2008-2010 se otorgaron los apoyos federales y estatales para incorporar los cultivos, estos consistieron en dotaciones económicas de 7,400 pesos mexicanos por hectárea, siendo éstos condicionados a una siembra de 1,600 plantas por hectárea, así como una subsistencia al año mayor al 70%. Dicho apoyo fue otorgado a través de la entonces Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), por medio del programa de la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) conocido como Pro-árbol, que asignó a la *Jatropha* como especie de aprovechamiento forestal; debido a que no se utiliza como alimento, igualmente porque sus semillas son ricas en aceite y su conveniente característica de crecer en suelos de baja fertilidad con bajos costes de cuidado (Rodríguez et al., 2014).

Los estados involucrados en este programa fueron Chiapas, Michoacán, Veracruz, Yucatán y Quintana Roo. A pesar de ello los resultados no fueron los previstos, ya que no se contaba con los conocimientos técnicos para cultivar *Jatropha* ni las redes comerciales adecuadas para el producto dado que Petróleos Mexicanos (PEMEX) no empleo los combustibles producidos como oxigenantes en su mercancía aunado a la falta de infraestructura adecuada para el refinamiento de los biocombustibles, provocando un desaliento para inversionistas privados y el sector público de los gobiernos estatales (Rodríguez et al., 2014). Es pertinente resaltar que durante este lapso de tiempo se construyeron plantas para la producción y procesamiento de biodiesel en Nuevo León, Michoacán y Chiapas, no obstante, estas cesaron actividades en 2011 (Toscano et al., 2011).

En este sentido, el Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria (CEDRSSA, 2020) refiere que en 2014 la Secretaría de Energía (SENER) hizo de carácter público la propuesta para la introducción de alcohol etílico anhidro en la gasolina comercializada por PEMEX, sin embargo, en dicho documento se hace alusión a dos licitaciones fallidas. La primera de ellas fue convocada en 2009 con el propósito de obtener etanol como aditivo (sustituto del MTBE) en las gasolineras del área metropolitana de Guadalajara. La segunda, realizada en 2012, pretendía comprar el biocombustible como oxigenante, al 5.8% por litro de gasolina en ciertas localidades del sureste mexicano. No obstante, ninguno de los llamados fue llevado a cabo debido a que las ofertas no fueron solventadas financieramente.

De igual manera, en la publicación también se menciona que hubo una tercera licitación que fue llamada en 2014 con el motivo de comprar etanol

como oxigenante de la gasolina magna en múltiples estaciones de depósito y distribución en el país, por lo que Petróleos Mexicanos tendría que realizar los cambios pertinentes en sus instalaciones para el uso y combinación del biocombustible. También, seis contratos fueron otorgados a empresas con el objetivo de venderle a PEMEX hasta 123 millones de litros por año de alcohol etílico anhidro, comenzado en 2016 y en principio por un lapso de 10 años, para lo cual era necesario el recurso financiero que posibilitara la adecuación de las refinerías. Sin embargo, hasta el año 2020 la referida sentencia de licitación no se había completado.

En 2016 la Comisión Reguladora de Energía (CRE) expidió la Norma Oficial Mexicana NOM-016-CRE-2016, donde se señalan especificaciones de calidad de los petrolíferos. En dicha norma se prohíbe el etanol en las gasolineras de las áreas metropolitanas de Guadalajara, Monterrey y el Valle de México, aunque en el resto del país se permite el 5.8% de alcohol etílico anhidro como aditivo de la gasolina, tanto regular como premium (Secretaría de Gobernación [SEGOB], 2016). Un año después esta norma se modificó permitiendo la anterior mezcla hasta en un 10%, pese a ello en 2020 la Suprema Corte de Justicia de la Nación (SCJN) invalidó los cambios por lo que actualmente la mezcla permitida sigue siendo de 5.8% (SEGOB, 2020).

Pese al panorama desalentador la investigación sigue avanzando, ya que por parte del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) se ha trabajado en la búsqueda y desarrollo de variedades con características deseables. Dichos trabajos han sido realizados desde el año 2007 a la fecha en el sur de México, esto a través del programa de investigación de bioenergía del INIFAP, con lo que se ha logrado la selección y generación de tres variedades clonales de *Jatropha curcas*, contando así con una adaptación al trópico húmedo, adaptación al clima del trópico seco, alto rendimiento de grano, alto contenido de aceite y buena calidad en el mismo (Solís Bonilla, 2022); Es posible acceder a estas variedades por medio de los lotes de multiplicación (jardines clonales) que se encuentran en cuatro Campos Experimentales del INIFAP: CE Rosario Izapa, en el municipio de Tuxtla Chico, Chiapas; CE Valle de Apatzingán, en Michoacán, CE Las Huastecas, en el municipio de Altamira, Tamaulipas y CE Mococho, en el municipio de Uxmal, Yucatán (Solís Bonilla et al., 2019).

Así mismo es posible encontrar apoyos gubernamentales como el ofrecido por PROBOSQUE, el cual tiene como objetivo establecer las plantaciones de *Jatropha* en campo, por ello, en 2018 ofreció acompañamiento de los primeros cuatro años de la planta, dicho apoyo consiste en lo siguiente: Desarrollar la plántula en su vivero, además el primer año se le da \$5000 por hectárea a cada productor con la intención de cubrir el coste de trasplante, los tres años restantes se les aporta \$3000 por hectárea para mantenimiento de las plantas; los técnicos de campo de PROBOSQUE son los

responsables de verificar que se haga el trasplante y monitorear el cuidado de las mismas (Sánchez, 2021). Aunque tener la materia prima es indispensable, igualmente lo es la tecnología para su refinamiento, en concordancia SAGARPA reportó siete plantas de biodiesel y bioetanol en el país, con una capacidad de producción de 42.2 millones de litros anuales (SAGARPA, 2017); De los cuales, 5277.8 m³ corresponden a biodiésel, además actualmente se cuenta con la existencia de tres empresas recicladoras de aceite de semilla y grasas animales, así mismo con una empresa enfocada a la generación de tecnología para la producción a mediana y gran escala de bioenergéticos (Cabrera et al., 2022); Para finalizar, aun con las bajas cantidades permitidas en las mezclas de gasolinas el 21 de julio de 2022 la SENER otorgó 24 permisos de comercialización, cinco de producción y ocho de transporte, todo ello en materia de biocombustibles (SENER, 2022).

Discusión

Es apremiante encontrar nuevas alternativas energéticas que sean parcialmente inagotables, del mismo modo estas deben ser amigables con los ciclos propios de la naturaleza para reducir el impacto sobre la misma y evitar repetir errores del pasado. La elaboración de un proyecto debe ser analizado por un panel de expertos y cada decisión tomada debe ser sometida a varios filtros que demuestren su viabilidad o en su caso, aporten datos contrarios para impedir su implementación; Todo con el fin de obtener los mejores resultados y mayor eficiencia, tal como sugiere Castro y colaboradores (2012); Aunque este proyecto no solo debe mejorar los rendimientos, también debe adaptarse a las condiciones socioeconómicas de México, ya que al respecto Alonso & Bello (2018) muestran como la caña de azúcar modificada puede retener mayores porcentajes de dióxido de carbono, sin embargo esto puede colocar en peligro la seguridad y soberanía alimentarias de nuestro país.

México aún enfrenta grandes retos, como la implementación adecuada de programas que impulsen la producción y consumo de los biocarburantes, tal como se puede observar en el trabajo de Rodríguez y colaboradores (2014), esta situación ha cambiado con el transcurrir de los años ya que la investigación realizada por Sánchez (2021) ha demostrado un mejoramiento en cuanto a los programas gubernamentales, del mismo modo en prácticas implementadas para mitigar los aspectos negativos asociados a los cultivos energéticos.

En el mismo sentido, desarrollar la tecnología adecuada en el refinamiento de los productos finales representa un reto a superar; Valdez & Palacios (2016) proponen la implementación de tecnologías de bajos costos, lo cual es contradictorio al revisar el trabajo de Palomino y colaboradores (2010) quienes indican que para un aprovechamiento correcto de la biomasa son necesarias biorrefinerías especializadas,

umentando así el coste de infraestructura; Aunque el país ha logrado un paso para desarrollar la tecnología de producción de biocarburantes ya que Cabrera y colaboradores (2022) mencionan la existencia de una empresa enfocada en este rubro.

Esto supone uno de los mayores retos por la necesidad de elaborarse a largo plazo, ya que depende del cambio en la administración del gobierno, puesto que no se siguen los proyectos del gobernante anterior, dejando inconclusos proyectos al final de cada sexenio; De igual modo seleccionar la materia prima adecuada junto a la tecnología necesaria para no poner en riesgo la seguridad ni soberanía alimentaria. Si bien el presente trabajo presenta un análisis limitado de las primordiales problemáticas que en nuestro país presenta la elaboración de biocombustibles como alternativa energética a los de origen fósil, da pauta a la realización de encuestas y entrevistas como principales técnicas de investigación particularmente en zonas rurales con la intención de conocer la percepción y determinar el grado de aceptación de la referida opción energética entre los pobladores de dichos espacios.

Conclusión

La dependencia del petróleo ha generado la crisis energética, del mismo modo provocó el desgaste acelerado de la capa de ozono, por ello los biocombustibles son una opción alentadora para minimizar el uso de los carburantes convencionales; Obtener biocarburantes que sustituyan a los combustibles utilizados en la generación de energía causaría un impacto significativo, ya que como los datos lo indican, la mayor cantidad de emisiones de CO₂, provienen de la industria energética.

México produce y usa unas cantidades bajas de biocombustibles en gran parte por el fracaso de los proyectos que intentaron impulsar su desarrollo; Los resultados actuales muestran un aprendizaje de dichos fracasos, encaminando los nuevos proyectos en la dirección correcta, del mismo modo los avances en la investigación de *Jatropha curcas* muestra resultados prometedores, aunque la clave de estos proyectos se encuentra en los subsidios gubernamentales.

El país aún no ha logrado obtener la seguridad alimentaria por lo que utilizar un cultivo alimenticio como el maíz y azúcar eleva los precios en el mercado, haciéndolos menos accesibles para la población, por lo que fractura la economía de forma general; Este efecto es creado de igual modo al desplazar los cultivos alimentarios por los cultivos no alimenticios que serán usados como materia prima; Aunque este efecto puede ser mitigado al utilizar las practicas correctas, como la asociación de cultivos, logrando una complementación al ingreso económico de los hogares mexicanos.

Es pertinente la realización de un proyecto a largo plazo, esto con el objetivo de minimizar los

problemas sociales, económicos, tecnológicos y culturales que pueden presentarse, el proyecto debe ser elaborado, coordinado y trabajado en conjunto por organismos especializados como SENER y PEMEX, INIFAP, PROBOSQUE y tomando en cuenta a la Suprema Corte de Justicia; Se debe conjuntar un programa que divulgue los beneficios del uso de bioenergéticos para conseguir la aprobación de la población, así como proporcionar la facilidad de realizar la transición de hidrocarburos a biocarburantes.

Impulsar la investigación en casas de estudios y particulares es sumamente importante porque con esto es posible obtener la tecnología o refinamiento de procesos que tiene el potencial para reducir los insumos y gastos energéticos, lo cual usualmente tiene como efecto el aumento de los rendimientos. Por último, se pueden observar mejoramiento y avances en materia de investigación, programas gubernamentales, infraestructura, pero ninguno en cuanto a políticas, por ende, no es posible lograr un cambio significativo, ya que no todos los sectores logran desarrollarse de la forma adecuada, deteniendo así el progreso.

Recomendaciones

México requiere de una modificación de la NOM-016-CRE-2016, para aumentar el porcentaje permitido, así mismo lograr la introducción de biocarburantes en el sector transporte de las grandes ciudades; Impulsar la infraestructura necesaria para el refinamiento de biocarburantes; Implementar en los programas que apoyan a las plantaciones de cultivos energéticos prácticas sustentables para mitigar aún más el cambio climático.

Referencias

- Abdullah, B., Muhammad, S. A. F., Shokravi, Z., Ismail, S., Kassim, K. A., Mahmood, A. N., & Aziz, M. M. A. (2019). Fourth generation biofuel: A review on risks and mitigation strategies. *Renewable and sustainable energy reviews*, Vol. 107, 37-50. <https://tinyurl.com/3pxu8889>
- Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos. (7 de junio de 2023). *Descripción general de los gases de efecto invernadero*. <https://tinyurl.com/4btyhx76>
- Alonso Gómez, L. A., & Bello Pérez, L. A. (2018). Materias primas usadas para la producción de etanol de cuatro generaciones: Retos y oportunidades. *Agrociencia*, Vol. 52(núm. 7). <https://tinyurl.com/4ywsyfw>
- Ambaye, T., Vaccari, M., Bonilla-Petriciolet, A., Prasad, S., van Hullebusch, E. D., & Rtimi, S. (2021). Emerging technologies for biofuel production: A critical review on recent progress, challenges and perspectives. *Journal of environmental management*, Vol. 290. <https://tinyurl.com/bdezazwd>
- Araujo-Ferrer, S. C., De Almeida, A., Zabala, A., & Granados, A. (2013). Uso de catalizadores en los procesos Fischer-Tropsch. *Revista mexicana de ingeniería química*, 12(2), 257-269. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1665-27382013000200006
- Armas, A., Morales, M., Albornas, Y., & Gonzáles, E. (2019). Proyección de una industria azucarera para transformarse en una biorrefinería a partir de biocombustibles de segunda y tercera generación. *Revista tecnología química: Universidad de oriente*, vol.39, no.39, 489-507. <https://tinyurl.com/3n5m2w8a>
- Asociación Española de Operadores de Productos Petrolíferos. (3 de junio de 2021). *Biocombustibles*. <https://tinyurl.com/bd7zj79v>
- BP plc. (26 de junio de 2023). *Revisión estadística de la energía mundial*. <https://tinyurl.com/wu44a8ky>
- Cabrera, D. A., Romero, A., Lopéz, R. A., Rios, L. J., & Leyva, Z. C. (2022). Producción de Biodiésel en México: Estado Actual y. *CienciaCierta*, 72, 334-383. <http://www.cienciacierta.uadec.mx/articulos/cc72/292producciondebiodiesel.pdf>
- Castro Martínez, C., Beltrán Arredondo, L. I., & Ortiz Ojeda, J. C. (2012). Producción de biodiesel y bioetanol: ¿Una alternativa sustentable a la crisis energética? *Ra Ximhai*, Vol. 8(núm. 3), 94. <https://tinyurl.com/346vjvuu>
- Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria. (abril de 2020). La producción y el comercio de los biocombustibles en México y en el mundo. Cámara de Diputados, gobierno de México. <https://tinyurl.com/yc57vdcd>
- Cortés, M., Gata, E., Pipió, A., Rodríguez, Á., & Sánchez, J. (2019). Biocombustibles: tipos y estrategias de producción. *MoleQla: revista de Ciencias de la Universidad Pablo de Olavide*, (núm.35), 20-25. <https://tinyurl.com/bdfpvzmm>
- Ganguly, P., Sarkhel, R., & Das, P. (2021). The second- and third-generation biofuel technologies: comparative perspectives. *Sustainable Fuel Technologies Handbook*. 29-50. <https://tinyurl.com/mw3bzcx5>
- Hirani, A., Javed, N., Asif, M., Basu, S., & Kumar, A. (2018). Biofuels: Greenhouse Gas Mitigation and Global Warming. *Publisher Springer India*, 141-154. https://doi.org/10.1007/978-81-322-3763-1_8
- Hingsamer, M., & Jungmeier, G. (2019). Biorefineries. *The role of bioenergy in the bioeconomy*, 179-222. <https://tinyurl.com/2awcx47a>
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. (enero de 2023). *Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero (INEGYCEI) 1990-2019* [Archivo de Excel]. Gobierno de México. <https://tinyurl.com/y9wemf76>
- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. (1 de octubre de 2019). *Buscan obtener biocombustibles de segunda generación*. Argentina.gob.ar. <https://tinyurl.com/2wsuf5zy>
- Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos (1 de febrero de 2008). <https://tinyurl.com/4h8nwef5>
- Malthus, T. (1798). *Primer ensayo sobre la población*. Altaya. <https://museo-etnografico.com/pdf/puntodefuga/171128malthus.pdf>
- Middtun, A., & Piccini, P. B. (2017). Facing the climate and digital challenge: European energy industry from boom to crisis and transformation. *Energy Policy*, Vol. 108, 330-333. <https://tinyurl.com/3ar6j6kt>
- Naqvi, M., & Yan, J. (2015). *First-generation biofuels*. Handbook of clean energy systems. <https://doi.org/10.1002/9781118991978.hces207>
- Naylor, R. L., & Higgins, M. M. (2018). The rise in global biodiesel production: Implications for food security. *Global food security*, Vol. 16, 75. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2211912417300172>
- Organización de las Naciones Unidas. (s.f.). *¿Qué son las energías renovables?*. <https://www.un.org/es/climatechange/what-is-renewable-energy>
- Palomino A., Estrada C., & López J. (2010). Microalgas: potencial para la producción de biodiesel. *Congreso brasileiro de mamona, 4 & simpósio internacional de oleaginosas energéticas*. 149-157. <https://tinyurl.com/424s3pau>
- Planas, O. (2 de septiembre de 2022). Evolución de los biocombustibles de primera a cuarta generación. *Energía Solar*. <https://tinyurl.com/yhdck744>

- Posso, F. (2002). Energía y ambiente: pasado, presente y futuro. Parte dos: Sistema energético basado en energías. *Geoenseñanza*, Vol. 7(núm. 1-2), 54-73. <https://www.redalyc.org/pdf/360/36070206.pdf>
- Ramos, F., Díaz, M., & Villar, M. (2016). Biocombustibles. *Asociación Civil Ciencia Hoy*, Vol. 147(núm. 1-1), 69-73. <https://tinyurl.com/55wvmkak>
- Rodríguez, O. A. V., V. A. P., & Sánchez, O. S. (2014, octubre). Las experiencias mexicanas con plantaciones de *Jatropha* [convención]. Estado del arte en la ciencia y tecnología para la producción y procesamiento de *Jatropha* no tóxica. Matanzas, Cuba. <https://www.mdpi.com/2071-1050/6/6/3732>
- Romero, A. (2010). Aprovechamiento de la biomasa como fuente de energía alternativa a los combustibles fósiles. *Revista de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales (España)*. Vol. 104(núm. 2), 39. <https://rac.es/ficheros/doc/00979.pdf>
- Salinas, E. & Gasca, V. (2009). Los biocombustibles. *El Cotidiano*, (núm. 157), 75-76. <https://www.redalyc.org/pdf/325/32512739009.pdf>
- Sánchez, C. (2021). Desarrollo rural sostenible: Experiencias de producción de *Jatropha curcas* en dos regiones de México [Tesis doctoral, Universidad Autónoma Chapingo]. Repositorio Chapingo. <http://repositorio.chapingo.edu.mx:8080/handle/20.500.12098/859>
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (2017, febrero 11). *Impulsa SAGARPA producción de biocombustibles en México*. <https://www.gob.mx/agricultura/prensa/impulsa-sagarpa-produccion-de-biocombustibles-en-mexico>
- Secretaría de Energía. (21 de junio de 2022). *Permisos otorgados por Secretaría de Energía para la comercialización, transporte, producción y almacenamiento de bioenergéticos*. Gobierno de México. <https://tinyurl.com/mrm6ax7c>
- Secretaría de Energía. (s.f.a). *Sector Energético*. Gobierno de México. <https://sie.energia.gob.mx/bdiController.do?action=cuadro&cveca=PMXB1C02>
- Secretaría de Energía. (s.f.b). *Sector Energético*. Gobierno de México. <https://sie.energia.gob.mx/bdiController.do?action=cuadro&cveca=IE7C02>
- Secretaría de Gobierno. (29 de agosto de 2016). *Acuerdo por el que la Comisión Reguladora de Energía expide la Norma Oficial Mexicana NOM-016-CRE-2016, Especificaciones de calidad de los petrolíferos*. Gobierno de México. <https://tinyurl.com/5n6kkn35>
- Secretaría de Gobierno. (18 de septiembre de 2020). *Acuerdo de la Comisión Reguladora de Energía que da cumplimiento a la resolución dictada por la Segunda Sala de la Suprema Corte de Justicia de la Nación en el Amparo en Revisión A.R. 610/2019; derivado del Juicio de Amparo Indirecto 1118/2017 interpuesto en contra del Acuerdo Núm. A/028/2017 por el que se modifica la Norma Oficial Mexicana NOM-016-CRE-2016, Especificaciones de calidad de los petrolíferos, con fundamento en el artículo 51 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización*. Gobierno de México. <https://tinyurl.com/5n6kkn35>
- Shokravi, H., Shokravi, Z., Heidarzadei, M., Ong, H. C., Koloor, S. S., Petru, M., Lau, W. & Ismail, A. F. (2021). Fourth generation biofuel from genetically modified algal biomass: Challenges and future directions. *Chemosphere*, Vol. 285. <https://tinyurl.com/yc5deukc>
- Sinche, D. (27 de julio de 2022). Biocombustibles de tercera generación: el potencial de las microalgas. *Petroenergía*. <https://tinyurl.com/4zv6hs93>
- Solís Bonilla, J. L. (2022, octubre 24). *El INIFAP impulsa el cultivo de *Jatropha curcas* como alternativa para la producción de Biocombustibles*. <https://www.gob.mx/inifap/articulos/el-inifap-impulsa-el-cultivo-de-jatropha-curcas-como-alternativa-para-la-produccion-de-biocombustibles>
- Solís Bonilla, J. L., Martínez Valencia, B. B., Rico Ponce, H. R., Basulto Colmanier, J. A., Avendaño Arrazate, C. H., & Zamarripa Colmenero, A. (2019). Doña Aurelia: nuevo cultivar de piñón para el trópico de México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 10(8), 1919-1925. <https://cienciasagricolas.inifap.gob.mx/index.php/agricolas/article/view/1940/2828>
- Toscano, L., Montero, G., Stoytcheva, M., Campbell, H., Lambert, A. (2011). Preliminary assessment of biodiesel generation from meat industry residues in Baja California, Mexico. *Biomass and Bioenergy*, Vol. 35(núm. 1), 26-31. <https://tinyurl.com/5n7uczhh>
- Trespalcacios, J., Blanquicett, C., & Carrillo, P. (2018). Gases y efecto invernadero. *Instituto de Desarrollo Sostenible*. <https://tinyurl.com/bdksu4kh>
- Valdés, O. & Palacios, O. (2016). Evolución y situación actual de plantaciones para biocombustibles: perspectivas y retos para México. *Agroproductividad*, Vol. 9(núm. 2), 33-41. <https://tinyurl.com/2yznfdmk>
- Weldekidan, H., Strezov, V., & Town, G. (2018). Review of solar energy for biofuel extraction. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 88, 184-192. <https://tinyurl.com/3e3sajfd>
- Wen, F., Nair, N. U., & Zhao, H. (2009). Protein engineering in designing tailored enzymes and microorganisms for biofuels production. *Current opinion in biotechnology*, Vol. 20(núm. 4), 412-419. <https://tinyurl.com/4cd7etfb>

Determinación del crecimiento de una plantación *Tectona grandis* L. f., Parroquia Sucre cantón 24 de Mayo, Manabí, Ecuador

Determination of the growth of a *Tectona grandis* L. f. plantation, Sucre Parish, 24 de Mayo canton, Manabí, Ecuador

César Alberto Cabrera Verdesoto¹, Jennifer Andrea García Álava²
Otto Francisco Mero Jalca¹, Ignacio Estévez Valdez¹, Rodrigo Paúl Cabrera Verdezoto¹

1 Universidad Estatal del Sur de Manabí, Ecuador
2 Ingeniera. Forestal, Profesional Autónomo

Recibido 10 febrero 2024, recibido en forma revisada 10 abril 2024, aceptado 10 de mayo 2024, en línea 30 de junio 2024.

Resumen

La *Tectona grandis* L. f. es ampliamente valorada y utilizada en el ámbito comercial debido a sus notables características físicas y mecánicas, así como su elevado valor económico. Ecuador se ha destacado como uno de los países de Latinoamérica con una considerable extensión de hectáreas dedicadas a la plantación de esta especie. Para el año 2014, se registraron 14.249,54 hectáreas de *T. grandis* L. f, con el 13,90% ubicadas en la provincia de Manabí. No obstante, existe una significativa falta de información sobre el rendimiento volumétrico de esta plantación. Este estudio se llevó a cabo en una plantación de 8,4 hectáreas con una densidad de 3x3, se establecieron sistemáticamente 5 parcelas circulares de 500 m² con un radio de 12,62 m., en la plantación de *T. grandis* de 17 años en la investigación se obtuvo resultados del monitoreo del año 2021, donde el incremento medio anual (IMA) del diámetro fue de 0,011 m, de la altura total fue de 1 m, de la altura comercial fue de 0,39 m, del área basal fue de 9,33 m², del volumen total fue de 113,84 m³ y del volumen comercial fue de 45,45 m³. De los árboles de 0,12 m de diámetro el volumen total a aprovechar en toda la plantación es de 1922,73 m³ y de volumen comercial 771,02 m³.

Palabras clave: incremento, variables dasométricas, volumen, plantación. Incremento, variables dasométricas, volumen, plantación.

Abstract

Tectona grandis L. f. is highly valued and widely used commercially due to its remarkable physical and mechanical properties, as well as its high economic value. Ecuador has emerged as one of the Latin American countries with a substantial area dedicated to the cultivation of this species. By 2014, 14,249.54 hectares of *T. grandis* L. f. were recorded, with 13.90% of these located in the province of Manabí. However, there is a significant lack of information on the volumetric yield of this plantation. This study was conducted on an 8.4-hectare plantation with a 3x3 density. 5 circular plots of 500 m² with a radius of 12.62 m were systematically established. In the *T. grandis* plantation of 17 years old, the research obtained results of the monitoring of the year 2021, where the mean annual increment (MAI) of the diameter was 0.011 m, the total height was 1 m, the commercial height was 0.39 m, the basal area was 9.33 m², the total volume was 113.84 m³ and the commercial volume was 45.45 m³. The total volume of trees of 0.12 m in diameter to be harvested in the entire plantation is 1922.73 m³ and the commercial volume is 771.02 m³.

Keywords: increase, dasometric variables, volume, plantation. Increment, dasometric variables, volume, plantation.

Introducción

Un efecto de la deforestación de bosques nativos es que ha impulsado el desarrollo de plantaciones forestales certificadas, debido al aumento constante

de la demanda mundial de productos de madera. En esta industria, destaca la *Tectona grandis* L. f. (Teca), una especie forestal muy valorada originaria de Birmania, India, Tailandia, Indochina y regiones circundantes, por sus cualidades de textura,

* Correspondencia del autor:

E-mail: cesar.cabrera@unesum.edu.ec



Esta obra está bajo una licencia de creative commons: atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0. Los autores mantienen los derechos sobre los artículos y por tanto son libres de compartir, copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra.

durabilidad y resistencia a hongos, termitas y descomposición. Su cultivo se ha extendido a otros países tropicales del mundo (Navas, 2015).

La *Tectona grandis* L, f. (Teca) es una especie que produce una de las maderas más preciadas y buscadas globalmente, debido a sus múltiples usos y características únicas en cuanto a color y durabilidad, cumpliendo con los altos estándares de calidad de sus derivados (Armijos, 2014).

González (2017) menciona que la actividad forestal es una importante fortaleza para el sostenimiento económico y social de cualquier país, ya sea desarrollado o en vías de desarrollo. Esto no solo se debe a los beneficios económicos y generación de empleo, sino también a las funciones esenciales de los bosques en la regulación de los ecosistemas y la protección del medio ambiente, incluyendo el incremento de la biodiversidad, la belleza escénica y paisajística, la recreación y la captura de dióxido de carbono atmosférico.

Ecuador posee una superficie boscosa total de 28'356.000 has, de las cuales se estima que 14.4 millones contienen plantaciones forestales.

Más del 50% del territorio ecuatoriano está cubierto por actividad forestal, lo cual, gracias a su ubicación geográfica privilegiada, hace de este país un lugar ideal para el desarrollo de numerosas especies arbóreas (Indacochea, 2018).

Según datos del Ministerio del Ambiente del Ecuador (MAE), hasta el año 2014 se registraron 14.249,54 hectáreas de plantaciones de teca en Ecuador, de las cuales 1981,37 hectáreas corresponden a la provincia de Manabí.

El mercado mundial de la teca es amplio, con países asiáticos y europeos liderando la lista de compradores de madera tropical. Entre los principales productores se encuentran países de América Central y del Sur. Hasta el año 2012, Ecuador tenía una participación del 5% en el mercado, un promedio destacable (Aguirre & Piloza, 2017).

El rendimiento de una plantación depende en gran medida de la capacidad productiva del sitio, la preparación del terreno y el manejo aplicado. En algunos lugares, los árboles crecerán rápidamente, alcanzando grandes volúmenes en poco tiempo, mientras que en otros el crecimiento es más lento o limitado (Murillo et al., 2017).

Generalmente, la medición de variables de un árbol se realiza con el objetivo de estimar el volumen y el crecimiento de la masa forestal, agregando los volúmenes y crecimientos de los árboles individuales, para la asignación de calidades de estimación y la creación de modelos de simulación del estado de la masa (Yner, 2014).

Esta investigación se enfocó en determinar el crecimiento de una plantación de *Tectona grandis* L.f, de 17 años, con el objetivo de conocer el incremento medio anual de las variables dasométricas como diámetro, altura, área basal y volumen.

Materiales y Métodos

Área de Estudio

El estudio se realizó en una plantación de *Tectona grandis* L. f., que abarca una superficie total de 8.4 hectáreas con una densidad de 3x3. Esta plantación está situada en las coordenadas UTM:563657 y 9864436, a una altitud de 89 msnm, en la comunidad El Chial, parroquia Sucre, cantón 24 de Mayo. La zona se caracteriza por temperaturas que varían entre 25° y 30°C y precipitaciones medias anuales que oscilan entre 700 y 1800 mm (Andrade 2015) (Figura 1).

Implementación de Unidades Experimentales

Para la determinación el número de parcelas a implementar, se utilizó una tabla de intensidad de muestreo basada en el número de hectáreas, desarrollada por Vega (2013) en su investigación "Seguimiento y Valoración de Madera de *Tectona Grandis* L.f. (Teca) para la Exportación en la Provincia de Los Ríos, Empresa Reybanpac". Esta tabla fue adaptada del trabajo Spitler (1995) "Distribución de parcelas circulares en plantaciones forestales con un diseño de muestreo sistemático", eligiendo un porcentaje de 0.03% para las 8,4 hectáreas.

La fórmula aplicada para la intensidad de muestreo fue la propuesta por Vega (2013).

$$IM = \frac{A * \% \text{ de muestreo}}{m^2}$$

Dónde:

IM = Intensidad de Muestreo

A = Área (superficie en hectáreas de la plantación)

m² = superficie de una parcela

% = porcentaje de muestreo

Determinación del Distanciamiento entre Parcelas

La determinación de la distancia entre parcelas se realizó mediante la fórmula propuesta por Vega (2013) adaptado de Spitler (1995).

Tabla 1. Intensidad de muestreo según el número de hectáreas

ÁREA (has)	INTENSIDAD (%)
≤1	0,10
= 1 a ≤ 3	0,05
= 3 a ≤ 6	0,04
= 6 a ≤ 10	0,03
= 10 a ≤ 20	0,02
=20 a ≤ = 50	0,015
≥50	0,01

Fuente: (Vega, 2013)

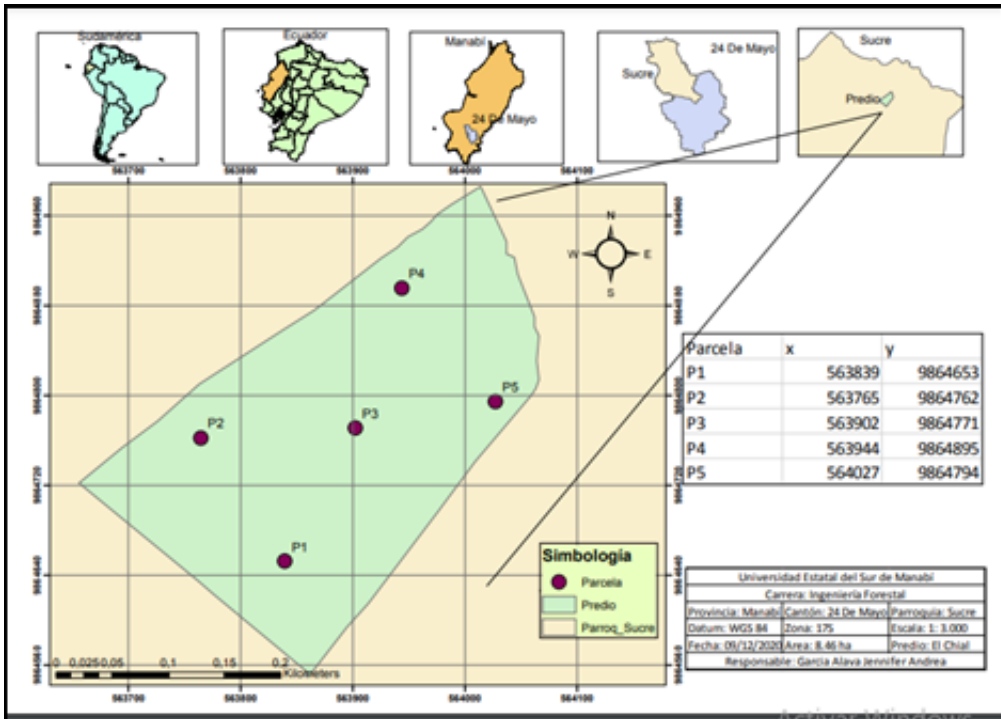


Figura 1. Área de estudio, plantación de *Tectona grandis*

$$D = \sqrt{\frac{\text{Área del terreno en m}^2}{\text{Número de parcelas}}}$$

Establecimiento de Parcelas y Toma de Datos

Para el establecimiento de la primera parcela, se consideró una distancia de 100 metros desde un punto de referencia en dirección al norte. Después de la primera parcela, se dejó un distanciamiento de 130 metros entre parcelas, conforma a la fórmula aplicada.

Una vez establecidas las parcelas, se determinó el centro de cada una utilizando estacas de 1 metro de altura. Con la ayuda de una piola, se midió un radio de 12,62 m desde el centro hacia el norte para identificar el primer árbol. Luego, se inventariaron los árboles siguiendo el sentido de las manecillas del reloj, y todos los árboles dentro de las parcelas se marcaron con un aerosol de color rojo. Después de inventario y numeración de los árboles, se midió la circunferencia de cada uno con una cinta métrica, que luego se transformó en DAP usando la constante π (3,1416). Para determinar la altura total y comercial, se utilizó un hipsómetro de suunto.

Cálculo del Área Basal y Volumen

Para calcular el área basal y volumen, se utilizaron

las fórmulas propuestas por (Pérez et al., 2017) en su investigación “Variables dasométricas relacionadas con la productividad de *Acacia mangium* Willd”.

$$G = 0,7854 * d^2$$

Donde,

$$G = \text{Área basal en m}^2$$

$$d = \text{diámetro a la altura del pecho en m}^2$$

$$V = G * h * f$$

Donde,

$$V = \text{Volumen en m}^3$$

$$G = \text{Área basal en m}^2$$

$$h = \text{La altura en metros}$$

$$f = \text{Factor o coeficiente de forma}$$

Cálculo del Incremento Medio Anual (IMA)

Para calcular el incremento medio anual (IMA) de las variables dasométricas como el diámetro, altura total y altura comercial, se empleó la fórmula propuesta por Véliz (2010).

$$IMA = \frac{Y}{t}$$

Dónde:

$$IMA = \text{incremento medio anual}$$

$$t = \text{Edad a partir del tiempo cero}$$

$$Y = \text{dimensión de la variable considerada}$$

Tabla 2. Volumen total y comercial aprovechable

Volumen aprovechable de la plantación				
Área	volumen total (m3)		volumen comercial (m3)	
	Rango (m)		Rango (m)	
	$\leq 0,11$	$\geq 0,12$	$\leq 0,11$	$\geq 0,12$
500 m2	0,07	11,44	0,03	4,59
10000 m2 (1ha)	1,49	228,90	0,53	91,79
84000 m2 (8.4 ha)	12,49	1922,73	4,44	771,02

Nota: m = metros; m3 = metros cúbicos

Evaluación del volumen aprovechable

Para evaluar el volumen aprovechable en la plantación, los árboles fueron clasificados según su diámetro. Se utilizaron dos rangos propuestos por Gavilanes (2020), considerando que los árboles con un diámetro $\leq 0,11$ m no son aprovechables, mientras que aquellos con un diámetro $\geq 0,12$ m son aprovechables, con un límite máximo de 0,48 m de diámetro. Finalmente, se distribuyó el volumen total y comercial aprovechable de la plantación en tres rangos.

Resultados

Incremento Medio Anual de Diámetro y Alturas

El IMA alcanzado se obtuvo a partir de la medición del diámetro y las alturas, considerando que los valores del año 2021 son actuales, mientras que los datos del periodo 2004 al 2020 son datos aproximados.

Incremento medio anual de diámetro

El incremento medio anual del diámetro en la plantación es de 0,011 m para el año 2021, se consideró según los datos del periodo 2021 que el incremento medio anual desde el primer periodo de la plantación es de 0,0007 m cada año.

Incremento medio anual de alturas

En el año 2021, el incremento medio anual de la altura total se estimó en 1 m, calculando este valor desde el inicio de la plantación que ha ido aumentando 0,06 m por año. En cuanto al IMA de la altura comercial en el mismo año, se calculó en 0,39 m, mostrando un incremento anual de 0,02 m desde el inicio de la plantación.

Incremento medio anual del area basal

Para el año 2021 el incremento medio anual del área basal es de 9,33 m2, considerando los datos del periodo 2021 el incremento medio anual desde el primer periodo ha aumentado 0,55 m2 aproximadamente cada año.

Incremento medio anual de volumen

El incremento medio anual del volumen total en el año

Tabla 3. Clasificación del volumen total aprovechable por rangos

Volumen total aprovechable (m3) según el rango diamétrico			
Rango	Area		
	500 m2	1 ha	8,4 ha
12 - 15,99	0,92	18,39	154,46
16 - 19,99	3,71	74,18	623,14
≥ 20	6,81	136,27	1144,63

Nota: m2= metros cuadrados; m3 = metros cúbicos; ha = hectárea(s)

2021 es de 113,84 m3, a partir de este valor se estima que el IMA desde el primer periodo de la plantación ha incrementado 6,70 m3 aproximadamente cada año. Mientras que el incremento medio anual del volumen comercial para el mismo año es de 45,45 m3, estimando que el incremento del volumen comercial desde el primer periodo de la plantación ha incrementado aproximadamente 2,67 m3.

El incremento medio anual del volumen total en el año 2021 es de 113,84 m3, a partir de este valor se estima que el IMA desde el primer periodo de la plantación ha incrementado 6,70 m3 aproximadamente cada año. Mientras que el incremento medio anual del volumen comercial para el mismo año es de 45,45 m3, estimando que el incremento del volumen comercial desde el primer periodo de la plantación ha incrementado aproximadamente 2,67 m3.

Evaluación del Volumen por Rango Diamétrico para su Aprovechamiento

El volumen que se encuentra dentro del rango $\geq 0,12$ m de diámetro es considerado como el volumen aprovechable de la plantación, obteniendo así 1922,73 m3 de volumen total aprovechable y 771,02 m3 de volumen comercial aprovechable (Tabla 2). Clasificando los volúmenes aprovechables de la plantación en tres rangos diamétricos, la cantidad de volumen total aprovechable en el rango de 12 -15,99 m de diámetro es de 154,46 m3; para el rango de 16 - 19,99 m es de 623,14 m3; y para el rango de ≥ 20 m de diámetro es de 1144,63 m3 (Tabla 3).

Tabla 4. Clasificación del volumen comercial aprovechable según el rango

Volumen comercial aprovechable (m3) según el rango diamétrico			
Rango	Area		
	500 m2	1 ha	8,4 ha
12 - 15,99	0,32	6,39	53,66
16 - 19,99	1,45	29,05	244,01
≥ 20	2,82	56,35	473,35

Nota: m2= metros cuadrados; m3 = metros cúbicos; ha = hectárea(s)

Considerando los tres rangos diamétricos mencionados, indica que la cantidad de volumen comercial aprovechable está distribuida en 53,66 m³; 244,01 m³ y 473,35 m³ para el primer, segundo y tercer rango respectivamente (Tabla 4).

Discusión

El incremento medio anual del diámetro en una plantación de 17 años fue de 0,011 m, lo cual es similar a los resultados obtenidos por Camacho, Ramírez, de los Santos y Zamudio (2013), quienes reportaron un IMA del diámetro de 0,013 m en una plantación de 23 años de edad. Sin embargo, estos resultados difieren de los obtenidos por Mollinedo, Herrera y Muñoz (2016), quienes encontraron un incremento medio anual de 0,015 m en una plantación de seis años de edad.

El incremento medio anual de la altura total alcanzó 1 m, un resultado que es congruente con el trabajo de Camacho et al., (2013), quienes reportaron un IMA de altura total de 1,04 m. No obstante, Mollinedo et al., (2016) reportaron una mayor discrepancia, con un incremento medio anual de altura total de 1,34 m en una plantación de seis años de edad.

El incremento medio anual del área basal fue de 9,33 m² en la plantación de 17 años de edad, un resultado que contrasta significativamente con los resultados de Mollinedo et al., (2016), quienes reportaron una IMA del área basal de 27 m² en una plantación de seis años.

En una plantación de teca de 8,4 hectáreas y 17 años de edad, el incremento medio anual de volumen total fue de 113,84 m³, lo cual difiere considerablemente de los resultados de Mollinedo et al., (2016), quienes encontraron que una plantación de 2480 hectáreas a los seis años produjo 6324 m³, considerando que estos resultados incluyen un 53% de árboles raleados. Tomando en cuenta los árboles con un diámetro de $\geq 0,12$ m, el volumen total aprovechable fue de 228,90 m³, un valor que no coincide con los resultados de Camacho et al., (2013), quienes reportaron un volumen aprovechable de 121,442 m³/ha en una plantación de teca de 17 años.

Conclusión

Al evaluar la plantación de *Tectona grandis* L. f., se observa que a la actualidad el crecimiento que está a los 17 años es mínimo su crecimiento de diámetro y altura de acuerdo al proceso de investigación que se realizó del incremento medio anual en las variables evaluadas, los factores que han influido en el bajo crecimiento de la plantación es el manejo silvicultural que no se ha realizado y las condiciones edafológicas del sitio.

En la plantación no se ha realizado manejo silvicultural esto ha permitido que exista una alta mortalidad, al

evaluar el área basal y volumen comercial y total, los resultados que se obtuvo de la investigación no fueron los esperados de acuerdo con la edad que tiene la plantación, en relación a otras plantaciones que con la misma edad tienen crecimientos más representativos en área basal y volumen.

Debido a la falta de manejo silvicultural en la plantación, se produjo una alta tasa de mortalidad, cuando se evaluaron el área basal, el volumen comercial y el volumen total, los hallazgos de la investigación no coincidieron con lo previsto dada la edad de la plantación, en comparación con otras plantaciones de la misma edad tienen un crecimiento más representativo de área basal y volumen.

En la plantación todos los árboles están dentro del rango mínimo de diámetro $\geq 0,12$ m para aprovechar de acuerdo con la normativa forestal, esto determinó un volumen total y comercial, el volumen comercial es el aprovechable de acuerdo a número de trozas comerciales que se obtiene de cada árbol.

Recomendaciones

Es fundamental realizar más investigaciones de este modelo en diferentes localidades de la provincia de Manabí y otras provincias, con el fin de obtener datos más actualizados y precisos sobre el rendimiento anual de las plantaciones.

Dato que la falta de control en las plantaciones forestales es un factor crucial para su adecuado desarrollo, se recomienda a los productos forestales implementar técnicas de manejo silvicultural. Esto es especialmente importante en las plantaciones de *T. grandis*, una de las especies más explotadas comercialmente. De esta manera, se puede asegurar un mejor desarrollo de la plantación y un mayor rendimiento volumétrico.

Referencias

- Aguirre, T., & Piloza, J. (2017). Análisis de la comercialización internacional de teca producida en Ecuador, con propuesta de creación de una asociación de productores. (Tesis de grado). Universidad de Guayaquil, Guayaquil.
- Andrade, J. (2015). Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del cantón 24 de Mayo. Obtenido de [odsterritorioecuador.ec: https://odsterritorioecuador.ec/wp-content/uploads/2019/04/PDOT-CANTON-24-DE-MAYO-2015-2025.pdf](https://odsterritorioecuador.ec/wp-content/uploads/2019/04/PDOT-CANTON-24-DE-MAYO-2015-2025.pdf)
- Armijos, L. (2014). Modelo de negocios y fuentes de financiamiento a través de un fideicomiso de inversión en el cultivo de teca (*Tectona grandis*). Quito: Qualitas.
- Camacho, A., Ramírez, H., de los Santos, H., & Zamudio, F. (2013). Tablas de rendimiento para teca (*Tectona grandis* L.) en el Estado de Campeche. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 93-101.
- Gavilanes, C. (2020). Precio y calidad de teca por edad y rango diamétrico. *Boletín técnico*. Grupo Noboa, Guayaquil.
- González, B. (2017). Evaluación del crecimiento de las plantaciones de *Tectona grandis* L.F. Unidad silvícola Mayari. *Revista CEFORES*, 330-339.
- Indacochea, L. (2018). Diversidad de escolitidos en plantaciones de *Tectona grandis* L.f. (teca) en la provincia

- de Esmeraldas, año 2018,. (Tesis de grado). Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Quevedo.
- Mollinedo, M. S., Herrera, M., & Muñoz, F. (2016). Caracterización del crecimiento de plantaciones jóvenes de teca (*Tectona grandis* Linn f.) y estimación de curvas de índice de sitio en el área septentrional de la República de Guatemala. *Madera y Bosques*, 22(2), 89-103.
- Murillo, Y., Domínguez, M., Martínez, P., Lagunes, L., & Aldrete, A. (2017). Índice de sitio en plantaciones de *Cedrela odorata* en el trópico húmedo de México. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias UNCUYO*, 15-31.
- Navas, J. A. (2015). Estudio de fertilización N-P-K en cultivo de teca (*Tectona grandis*). (Tesis de grado). Universidad Catoica de Santiago de Guayaquil, Guayaquil.
- Pérez, Y. L., Reyes, R., & Ríos, C. (2017). Variables dasométricas relacionadas con la productividad de *Acacia mangium* Willd. *Revista Centro Agrícola*, 14-21.
- Vega, D. (2013). Seguimiento y valoración de teca (*Tectona grandis* L.f.), para la exportación en la provincia de Los Ríos, empresa REYBANPAC. (Tesis de grado). Escuela Politécnica de Chimborazo, Riobamba.
- Véliz, F. (2010). Determinación del Incremento Medio Anual (IMA) e índice de sitio de diferentes especies forestales en el bosque protector Prosperina-ESPOL. (Tesis de grado). Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil.
- Yner, F. (2014). *Dasometría: apuntes de clase y guía de actividades prácticas*. 1ra edición. Cochabamba-Bolivia. 103 pag. Recuperado: file:///C:/Users/Quasad/Downloads/DASOMETRIA_Apuntes_de_Clase_y_Guía_de_Ac.pdf

Caracterización Geomorfológica de la Microcuenca del Estero Mutile Utilizando Modelos Digitales de Elevación (MDE) en el Software QGIS 3.36.2

Geomorphological characterization of the Mutile Estuary Microbasin Using Digital Elevation Models (DEM) in QGIS 3.36.2 Software

Jesmar Jandry Corozo Hurtado¹ & Patricio Alejandro Merino Córdova¹

¹ Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Técnica Luis Vargas Torres, Estación Experimental Mutile, Esmeraldas, Ecuador

Recibido 10 febrero 2024, recibido en forma revisada 10 abril 2024, aceptado 10 de mayo 2024, en línea 30 de junio 2024.

Resumen

Esta investigación tiene como objetivo caracterizar los parámetros geomorfológicos de la microcuenca del estero Mutile, la que se encuentra ubicada en la provincia de Esmeraldas, Cantón Esmeraldas, Parroquia San Mateo, la investigación se realizó mediante los sistemas de información geográfica (SIG) junto con el software QGIS 3.36.2 donde se procesaron los modelos digitales de elevación (MDE) para obtener los parámetros geomorfológicos, este estudio busca conocer los parámetros de forma, relieve y red de drenaje con el objetivo de evaluar el comportamiento hidrológico de esta microcuenca y al mismo tiempo esta investigación desea compartir la información para fortalecer el conocimiento sobre las cuencas hidrográficas para una buena gestión de sus recursos, por estas razones se desea que la información obtenida en este proceso sea utilizada para la elaboración de planes de Gestión de Áreas naturales.

Palabras clave: Cuenca Hidrográfica, Geomorfología, Sistema de información geográfica, Modelo digital de elevación, QGIS

Abstract

This research aims to characterize the geomorphological parameters of the Mutile estuary microbasin, which is located in the province of Esmeraldas, Esmeraldas Canton, San Mateo Parish, the research was carried out using geographic information systems (GIS) together with the QGIS 3.36.2 software where the digital elevation models (DEM) were processed to obtain the geomorphological parameters, this study seeks to know the parameters of shape, relief and drainage network with the objective of evaluating the hydrological behavior of this microbasin and at the same time research wants to share information to strengthen knowledge about hydrographic basins for good management of their resources, for this reason it is desired that the information obtained in this process be used to develop management plans for natural areas.

Keywords: Hydrographic Basin, Geomorphology, Geographic Information System, Digital Elevation Model, QGIS

Introducción

Una cuenca hidrográfica es una unidad territorial o región por la que fluye toda el agua proveniente de las lluvias que, al caer sobre este territorio, escurre por un sistema de drenaje hasta el punto de desembocadura (Ibáñez et al., 2011). Por lo tanto, se puede concluir que el agua que se almacena en esta superficie drena hacia un efluente más amplio, como una laguna o el mar. Por otra parte, las cuencas hidrográficas se pueden clasificar por su superficie.

Tenemos que las cuencas hidrográficas son las unidades que tienen un territorio mayor a 500 km²; las subcuencas hidrográficas poseen una superficie que va desde 50 hasta 500 km²; y las microcuencas hidrográficas cuentan con territorios menores a 50 km² (Sánchez et al., 2003). La geomorfología de una cuenca hidrográfica permite obtener una idea amplia de las propiedades que tiene una cuenca hidrográfica, como los parámetros de forma, el parámetro de relieve y la red de drenaje (Loayza & Van den Berg, 2018).

* Correspondencia del autor:

E-mail: jesmar.corozo@utelvt.edu.ec



Esta obra está bajo una licencia de creative commons: atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0. Los autores mantienen los derechos sobre los artículos y por tanto son libres de compartir, copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra.

Los problemas ambientales que se presentan en la microcuenca del Estero Mutile están derivados de las actividades agrícolas, la deforestación y la contaminación del agua. Una de las actividades que más generan recursos económicos para los habitantes de la cuenca son las actividades agrícolas, pero estas han llevado al uso excesivo de pesticidas y fertilizantes, generando grandes cantidades de residuos contaminantes. Estos residuos, al no ser gestionados de manera adecuada, terminan contaminando los cuerpos de agua y afectando su calidad. La contaminación, junto con la deforestación, no solo afecta a los ecosistemas locales, sino que también pone en riesgo la salud de los habitantes de la comunidad que dependen de estos recursos naturales.

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) consisten en un grupo de hardware, software y datos creados para analizar, almacenar, convertir y presentar toda información geográfica que esté completamente georreferenciada y adaptada a un sistema de coordenadas, ya sea geográfico o espacial. Por lo tanto, se puede concluir que los SIG son parte de los avances de la tecnología, ya que permiten obtener información para resolver y responder varias interrogantes de manera inmediata (Geoenseñanza, 2006).

Los DEM son productos geomáticos que, con la ayuda de un software, se pueden utilizar para estudiar y modelar superficies terrestres. Además, se sabe que la información que contienen los MDE se refiere a las elevaciones de un terreno sin ninguna clase de infraestructura o cobertura vegetal, a diferencia de los Modelos Digitales de Superficie (MDS). Estos últimos son productos obtenidos de los SIG y representan las variables cualitativas y cuantitativas de una superficie terrestre, incluyendo edificios, tipo de suelo, el uso del suelo (agrícola, forestal, urbano) árboles y otras infraestructuras (Mesa y Ariza, 2019).

QGIS es un software de código abierto que forma parte de los sistemas de información geográfica (SIG). Fue creado en mayo de 2002 y tiene como objetivo ser fácil de usar mientras proporciona funciones y características comunes en el ámbito de los SIG. Inicialmente, el proyecto QGIS se centró en ser un visor de datos SIG, pero ha evolucionado hasta convertirse en una herramienta integral utilizada para diversas necesidades en el ámbito de la geoinformática. En la actualidad QGIS se utiliza ampliamente para la visualización diaria de datos GIS, la captura de datos, el análisis avanzado de GIS y la generación de mapas, atlas e informes sofisticados desde cualquier parte del mundo, todo desde un entorno de escritorio.

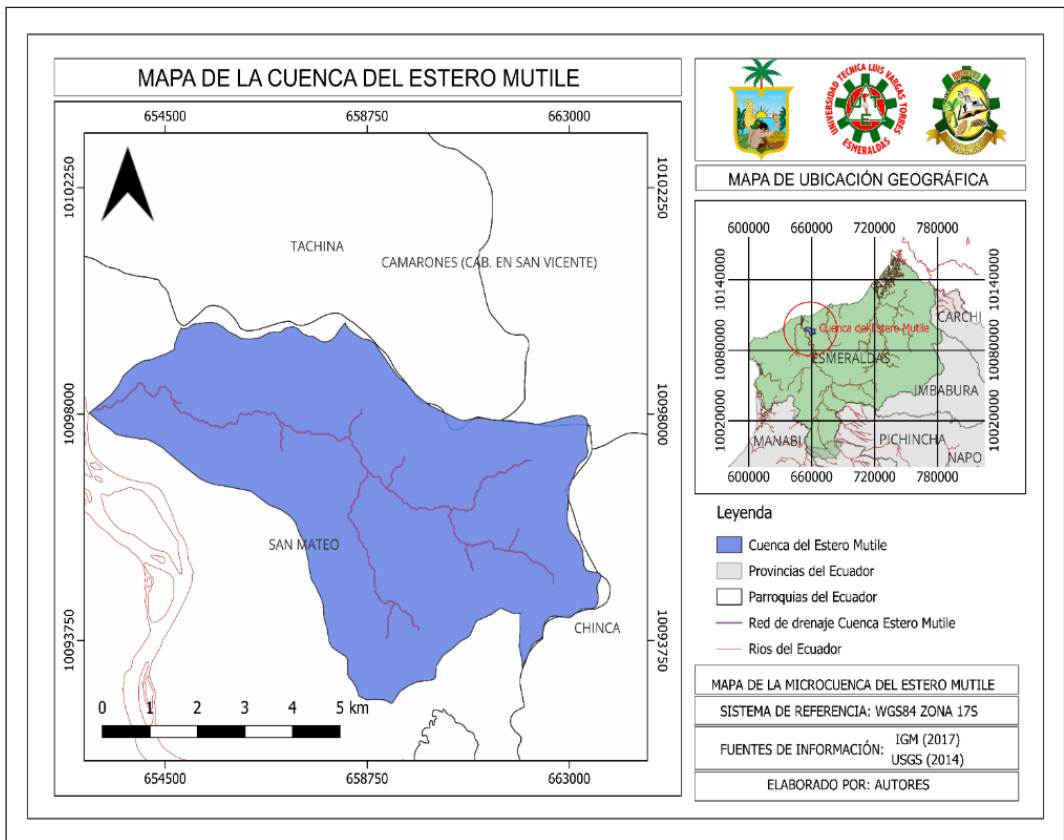


Figura 1. Ubicación del área de Estudio. Fuente: (Corozo & Merino, 2024)

Su capacidad para trabajar con modelos digitales de elevación (MDE), realizar análisis espaciales detallados y su compatibilidad con una amplia gama de formatos de datos geoespaciales lo convierten en una herramienta muy valorada por profesionales de la cartografía y la geomática (QGIS Project, 2024).

El presente trabajo tiene como objetivo realizar una caracterización geomorfológica detallada de la microcuenca del Estero Mutile, utilizando para ello modelos digitales de elevación (MDE) y aprovechando las funcionalidades avanzadas del software QGIS en su versión 3.36.2.

Materiales y Método

El estudio geomorfológico se realizó con Modelos Digitales de Elevación (MDE) de la microcuenca del estero Mutile, donde se analizaron cada uno de los parámetros morfométricos, como la forma, el relieve y la red de drenaje. En la metodología de parametrización se utilizaron los MDE con una resolución de 30m que se obtuvieron del portal del United States Geological Survey (USGS), procediendo a descargarlos de Earth Explorer (Servicio Geológico de EE. UU,2020).

Área de estudio

La microcuenca del Estero Mutile está ubicada en la cuenca del río Esmeraldas, en la provincia de Esmeraldas, Cantón Esmeraldas Parroquia San Mateo, específicamente en el Recinto Mutile, La microcuenca tiene una superficie total de 38,503 km².

Limita al norte con la parroquia Tachina, al Sur con la parroquia San Mateo, al este con las parroquias Camarones y Chica, y al oeste con el río Esmeraldas (Figura 1).

Proceso de delimitación de cuenca hidrográfica en el software QGIS 3.36.2 (Figura 2).

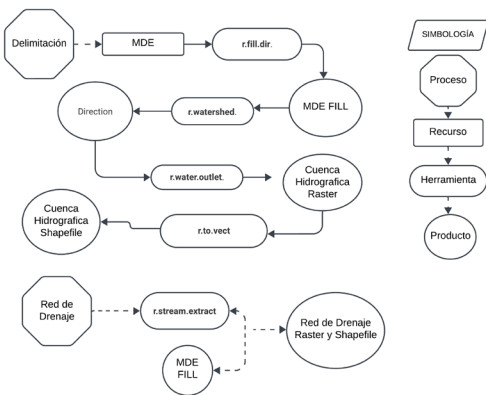


Figura 2. Diagrama de proceso de delimitación de la microcuenca del estero Mutile en QGIS 3.36.2. Fuente: (Corozo & Merino, 2024).

Importación de datos:

Importación del modelo digital de elevación
Cargar shapefiles relevantes, como límites administrativos

Reproyección:

Asegurarse de que todos los datos estén en la misma proyección cartográfica.
Preprocesamiento del MDE

Procesamiento del MDE:

Utilizar la herramienta r.fill.dir de GRASS para rellenar los sumideros en el MDE y crear un DEM corregido.

Generación de direcciones de flujo:

Usar la herramienta r.watershed de GRASS para calcular la dirección de flujo a partir del MDE corregido
Generación de acumulación de flujo:

Usar la herramienta r.watershed de GRASS para calcular la acumulación de flujo.

Delimitación de la cuenca:

Identificar y marcar el punto de salida del Estero Mutile en el mapa.

Usar la herramienta r.water.outlet de GRASS para generar la cuenca hidrográfica basada en el punto de salida.

Post-procesamiento y análisis:

Vectorización de la cuenca
Convertir la cuenca raster a un shapefile vectorial usando la herramienta Polygonize (Raster to Vector).

Análisis y cálculo de atributos:

Calcular atributos importantes de la cuenca, como área, perímetro, pendiente media, longitud del cauce principal, etc.

Parámetros Morfométricos de la cuenca del estero Mutile.

Parámetros Generales

Los parámetros generales de una cuenca hidrográfica son características clave que describen su tamaño, forma, relieve y otros aspectos que influyen en su comportamiento hidrológico.

Área de la cuenca (A)

Es el tamaño de la superficie de la cuenca en km².

Perímetro de la cuenca (P)

La longitud total de los límites de la cuenca o divisoria de aguas.

Ancho de la cuenca (An)

El ancho de la cuenca se refiere a la distancia horizontal entre los puntos más distantes a lo largo de un valle o una cuenca hidrográfica.

Longitud Axial (La)

Describe la longitud total de un río o corriente principal desde su origen hasta su desembocadura o punto de salida de la cuenca hidrográfica.

Longitud de la cuenca (D)

Es la distancia que hay desde la parte alta de una cuenca hasta su desembocadura.

Parámetros asociados al factor forma

Describe la forma y características morfológicas de una cuenca hidrográfica.

Coefficiente de compacidad (Gravelius) (Kc)

Este parámetro describe el perímetro de la cuenca con el perímetro de un círculo teórico de área equivalente al de la cuenca. (Tabla 1) (Gravelius, 1914)

$$Kc = \frac{0.282 * (P)}{\sqrt{A}}$$

Donde:

Kc: Coeficiente de compacidad (mm).

A: Área de la cuenca (km²).

P: Perímetro de la cuenca (km).

Coefficiente de circularidad (Miller) (CC)

Compara el área de la cuenca con el área de un círculo cuya circunferencia es igual al perímetro (Tabla 2) (Miller, 1953).

$$Cc = 4\pi \frac{A}{P^2}$$

Donde:

Cc: Factor forma (mm).

A: Área de la cuenca (km²).

P: Perímetro de la cuenca (km).

Coefficiente o factor forma (Horton) (kf)

Es la relación entre el área de la cuenca y el cuadrado

Tabla 1. Rangos del Coeficiente de Gravelius

Rango	Descripción
1 < Kc < 1,25	Forma casi redonda a oval-redonda
1,25 < Kc < 1,5	Forma oval-oblonga
Kc > 1,5	Forma oval-oblonga a rectangular-oblonga

Fuente: Gaspari (2010).

de la longitud de la cuenca (Tabla 3) (Horton, 1932).

$$Ff = \frac{A}{La^2}$$

Donde:

Kf: Factor Forma (mm).

A: Área de la Cuenca (Km²).

La: Longitud Axial de la cuenca (km).

Índice de alargamiento (Horton) (Ia)

Relaciona la longitud del cauce y el ancho máximo de ella, por medio de este parámetro se puede determinar si la forma de la cuenca es alargada o achatada (Tabla 4) (Horton, 1932).

$$Ia = \frac{L}{An}$$

Donde:

Ia: Índice de alargamiento (Horton) (mm).

L: Longitud de la cuenca (km).

An: Ancho Máximo (km).

Parámetros asociados al Relieve

El parámetro relieve describe las características topográficas y las variaciones en la elevación en una cuenca hidrográfica.

Altitud Máxima de la cuenca (Cmax)

Representa la altura máxima de la cuenca hidrográfica.

Altitud Mínima de la cuenca (Cmin)

Representa la altura mínima de la cuenca hidrográfica.

Desnivel altitudinal (DA)

Es la diferencia entre la cota más alta y la cota más baja de la cuenca.

$$DA = Hmax - Hmin$$

Donde:

DA: Desnivel altitudinal (m s.n.m).

Amax: Altitud máxima (m s.n.m).

Amin: Altitud mínima (m s.n.m).

Tabla 2. Valores Coeficiente de circularidad Senisterra et al (2014)

Coeficiente de circularidad de Miller	
Si Cc tiende a 1	Cuenca forma redonda
Si C_c tiende a 0	Cuenca forma alargadas.

Senisterra et al (2014)

Tabla 3. Valores de factor forma

Kf (valores aproximados)	Kf (valores aproximados)
< 0,22	Muy alargada
0,22 a 0,3	Alargada
0,3 a 0,37	Ligeramente alargada
0,37 a 0,45	Ni alargada ni ensanchada
0,45 a 0,60	Ligeramente ensanchada
0,60 a 0,80	ensanchada
0,80 a 1,20	Muy ensanchada
> 1,20	Rondando el desagüe

Fuente: Pérez (1979)

Altitud Máxima del cauce principal (Cmax CP)

Representa la altura mínima del cauce principal de una cuenca hidrográfica.

Altitud Mínima del cauce principal (Cmin CP)

Representa la altura mínima del cauce principal de una cuenca hidrográfica.

Altitud media de la cuenca (Amedc)

Es la relación entre la diferencia de altitudes del cauce de una cuenca.

Tabla 5. Representa la altura máxima de la cuenca hidrográfica.

Pendiente media (%)	Tipo de relieve
0 a 2	Llano
2 a 5	Suave
5 a 10	Accidentado medio
10 a 15	Accidentado
15 a 25	Fuertemente accidentado
25 a 50	Escarpado
> 50	Muy escarpado

Fuente: Pérez (1979)

Tabla 4. Valores de Índice de alargamiento

LI	Característica
0.0 - 1.40	Poco alargada
1.50 - 2.80	Moderadamente alargada
2.90 - 6.50	Muy alargada

Fuente: Cañibano et al (2016)

$$Amedc = \frac{\sum Hi * Si}{A}$$

Donde:

Amedc: Altitud media de la cuenca (m s.n.m)

Hi: Altitud media de cada tramo del área contenida entre en las curvas de nivel (m s.n.m)

Si: Área contenida entre las curvas de nivel

A: Área de la cuenca (Km2)

Pendiente promedio de la cuenca (Smed)

Es el valor que controla la velocidad con la que se dará la escorrentía superficial en la cuenca (Tabla 5).

$$J = 100 * \frac{\sum Li * E}{A}$$

Donde:

J(Smed): Pendiente media de la cuenca (%).

Li: Longitud de cada una de las curvas de nivel (km).

E: Equidistancia de las curvas de nivel (km).

A: Área de la cuenca (Km2).

Pendiente media del cauce (Sc): Es la relación existente entre el desnivel altitudinal del cauce y su longitud (Tabla 6).

$$Sc = \frac{Hmax - Hmin}{Lcp}$$

Donde:

Sc: Pendiente media del cauce principal (%).

Hmax: Altura máxima del cauce (m s.n.m).

Hmin: Altura mínima del cauce (m s.n.m).

Lcp: Longitud del cauce principal (km).

Tabla 6. Valores Pendiente media del cauce

Pendiente media del cauce principal (%)	Clases
1 a 5	Suave
6 a 11	Moderado
12 a 17	Fuerte

Fuente: IBAL (2009)

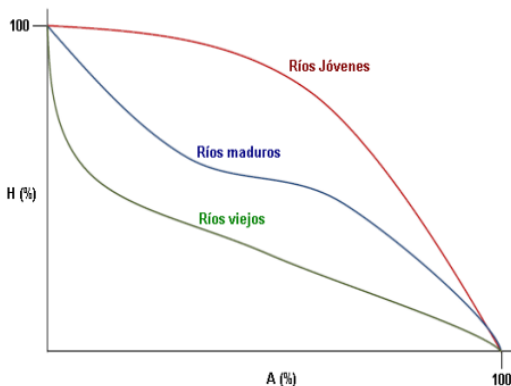


Figura 3. Clasificación de curva Hipsométrica. Fuente: Ibáñez et al (2011)

Curva Hipsométrica

La curva hipsométrica es la representación gráfica de la variación de la elevación de una cuenca, en la cual puede observarse la distribución de las zonas altas, medias y bajas (Figura 3)

Perfil Longitudinal del cauce principal

Una representación gráfica detallada que muestra las líneas trazadas a lo largo de un cauce, desde el punto exacto donde se origina hasta el lugar donde finalmente desemboca en otro cuerpo de agua, como un lago, un río grande o directamente al mar (Figura 4).

Parámetro Red de Drenaje

El parámetro de la red de drenaje de una cuenca hidrográfica describe cómo están distribuidas las corrientes de agua dentro de una cuenca hidrográfica.

Longitud del cauce principal (LCP)

Es la longitud del cauce principal desde el punto que nace el cauce hasta el punto sumidero.

Densidad de drenaje (Dd)

Este parámetro determina la longitud de los cauces que participan en la cuenca hidrográfica (Tabla 7) (Horton, 1945).

Tabla 7. Valores de densidad de drenaje

Densidad de drenaje (km/km)	Categoría
0.1 a 1.8	Baja
1.9 a 3.6	Moderada
3.7 a 5.6	Alta

Fuente: IBAL (2009)

$$Dd = \frac{\sum Ltc}{A}$$

Donde:

Dd: Densidad de drenaje (km/km2).

Ltc: Longitud total del todos los cauces (km).

A: Área de la cuenca (Km2).

Extensión media del Escurrimiento superficial (Es)

Expresa la distancia promedio, en la cual el agua producto de la lluvia recorre el área de la cuenca superficialmente hasta incorporarse al cauce de mayor proximidad.

$$Es = \frac{A}{4 + Ltc}$$

Es: Extensión media del Escurrimiento superficial (km)

A: Área de la cuenca (Km2)

Ltc: Longitud total del todos los cauces (km)

Tiempo de concentración (Tc)

Representa el tiempo que tarda una gota de agua que proviene de la precipitación en escurrir desde el punto más lejano y alto de la divisoria hasta la salida de la cuenca (Tabla 8).

$$\text{Kirpich (1940): } Tc = 0,06628 \left(\frac{Lcp}{S} \right)^{0,77}$$

Donde:

Tc: Tiempo de concentración (Horas).

Lcp: Longitud del cauce principal (km).

S: Pendiente media del cauce principal (m/m).

$$\text{Témez (1991): } Tc = 0,30 \left(\frac{Lcp}{S} \right)^{0,76}$$

Donde:

Tc: Tiempo de concentración (horas).

Lcp: Longitud del cauce principal (km).

S: Pendiente media del cauce principal (%)

$$\text{Giandotti (1934): } Tc = \frac{4\sqrt{A} + 1,5Lcp}{0,8\sqrt{H}}$$

Donde:

Tc: Tiempo de concentración (horas).

A: Área de la cuenca (km2).

Lcp: Longitud del cauce principal (km).

H (Amedc): Elevación media de la cuenca (m s.n.m).

Tabla 8. clases de tiempo de concentración (min)

Rangos de Tc	Clases
< 40	Rápido
40-80	Moderado
>80	Lento

Fuente: Baldeon (2016)

Resultados

El proceso de caracterización de la microcuenca del Estero Mutile se realizó con los modelos digitales de elevación procesados en QGIS. Mediante este software, se obtuvieron tablas y gráficos que permitieron la caracterización geomorfológica de la microcuenca del Estero Mutile. Como resultado de todo el proceso de caracterización, se obtuvieron los parámetros geomorfológicos (Tabla 9).

Área de la cuenca

La cuenca del Estero Mutile abarca una superficie de 38.50 km², lo que la clasifica como una microcuenca según la categorización basada en la extensión de las cuencas hidrográficas, ya que su área es menor a 50 km². Esta cuenca forma parte de la gran cuenca hidrográfica del río Esmeraldas, la cual está dentro de la vertiente del Pacífico de las cuencas hidrográficas de Ecuador.

Longitud del cauce principal

El cauce principal de la microcuenca está compuesto por varios tributarios, pero el cauce principal tiene una longitud de 13.15 km. Con esta longitud, el cauce en línea recta representa aproximadamente el 95% de la cuenca, sin contar los tributarios. Por esta razón, esta longitud del cauce principal es necesaria para que se puedan efectuar procesos de erosión y sedimentación en el estero Mutile.

Coefficiente de compacidad (Gravelius)

La microcuenca del estero tiene un coeficiente de compacidad de 1.46 m/m. Según la clasificación en la (Tabla 1), este valor determina que la cuenca tiene una forma oval-oblonga.

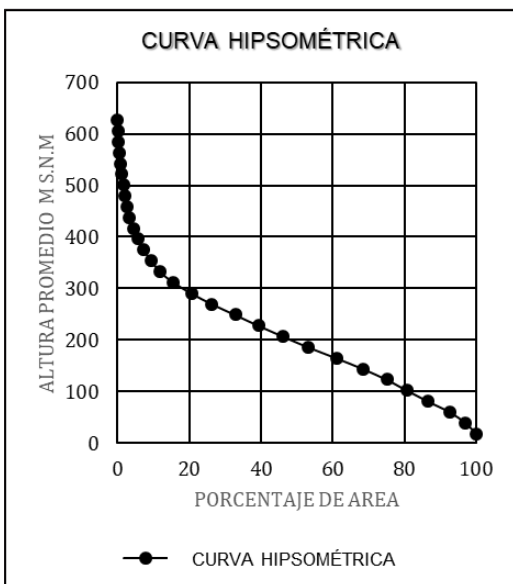


Gráfico 1. Curva Hipsométrica. Fuente: (Corozo & Merino, 2024)

Coefficiente de circularidad (Miller)

El coeficiente de circularidad dio como resultado 0.46 m/m, valor que, comparado con la (Tabla 2), indica que la microcuenca tiene una forma aproximadamente alargada.

Coefficiente o factor forma

El factor de forma de la microcuenca es de 0.30 m/m. Según la clasificación en la (Tabla 3), se puede determinar que la microcuenca del Estero Mutile tiene una forma ligeramente alargada.

Índice de alargamiento (Horton)

Este parámetro dio como resultado 3.30 km/km. Comparado con los valores de la (Tabla 4), se puede determinar que la microcuenca es muy alargada.

Pendiente promedio de la cuenca

Para definir en qué clasificación está la pendiente media de la microcuenca del estero Mutile, se realizó una comparación con base en la clasificación de pendiente (Tabla 5). La microcuenca del estero Mutile, al tener una pendiente de 26.92%, se clasifica como una pendiente escarpada. Este proceso de comparación es fundamental para entender mejor las características geomorfológicas de la cuenca, ya que permite identificar cómo la inclinación del terreno influye en diversos aspectos hidrológicos y ambientales.

Pendiente promedio del cauce

Para definir en qué clasificación está la pendiente media del cauce principal de la microcuenca del Estero Mutile la comparación se realizó con base a la clasificación de pendiente (Tabla 6) el cauce principal tiene una pendiente promedio de 18.94 % la pendiente del cauce principal de la microcuenca es fuerte.

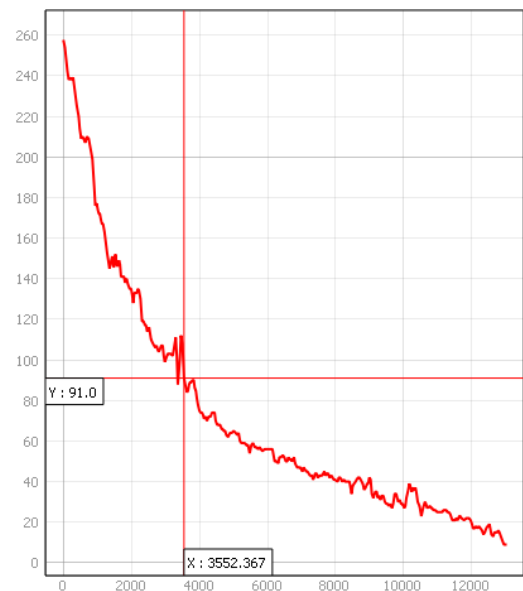


Figura 4. Perfil longitudinal del cauce principal. Fuente: (Corozo & Merino, 2024)

Tabla 9 Parámetros morfométricos de la microcuenca del Estero Mutile.

Parámetros Morfométricos Generales			
Parámetros	Unidad	Símbolo	Valor
Perímetro	km	P	32.39
Área	km ²	A	38.50
Longitud del cauce principal	km	LCP	13.15
Desnivel altitudinal	m s.n.m	DA	621
ASOCIADOS PARAMETRO FORMA			
Longitud de la cuenca	km	D	11.27
Ancho de la cuenca	Km ²	An	3.42
Coficiente y/o factor forma	m/m	kf	0.30
Coficiente de compacidad (Gravelius)	m/m	kc	1.46
Coficiente de circularidad (Miller)	m/m	CC	0.46
Índice de alargamiento (Horton)	km/km	la	3.30
ASOCIADOS PARAMETRO RELIEVE			
Altitud máxima	m s.n.m	Amax	629
Altitud mínima	m s.n.m	Amin	8
Altitud media de la cuenca	m s.n.m	Am	195
Pendiente media de la cuenca	%	J (Smed)	26.92
Altitud máxima del cauce	m s.n.m	Amaxc	257
Altitud mínima del cauce	m s.n.m	Aminc	8
Desnivel altitudinal del cauce	m s.n.m	DA	249
Pendiente media del cauce	%	Sc	18.94
ASOCIADOS PARAMETRO RED DE DRENAJE			
Longitud total del drenaje	km	Ltd	24.23
Densidad de drenaje	km/km ²	Dd	0.63
Frecuencia de los ríos	río/km ²	Fr	0.29
Número de escurrimiento	-	Ne	11
Extensión media del Escurrimiento superficial	km	Es	0.40
	Horas		Kirpich Tc: 0.91 Hrs
	Horas		Temez Tc: 1.22 Hrs
Tiempo de concentración	Horas	Tc	Giandotti Tc: 2.22 Hrs

Fuente: (Corozo & Merino,2024)

Curva Hipsométrica

En el parámetro de la curva hipsométrica de la microcuenca del estero mutile (Grafico 1) se demostró con base en la clasificación general de la curva hipsométrica (Figura 3) que el estero de la microcuenca mutile se lo puede clasificar como un río viejo por lo tanto es una microcuenca sedimentaria.

Densidad de drenaje

Se determinó, según la clasificación de densidad

de drenaje (Tabla 7), que la microcuenca posee un drenaje baja debido a que la densidad de drenaje es de 0.63 km/km². La cuenca tiene dificultades para evacuar el agua de manera eficiente, lo que puede hacerla vulnerable a inundaciones.

Frecuencia de los ríos

La frecuencia de los ríos de la microcuenca del Estero Mutile muestra que hay 0.29 ríos por cada kilómetro cuadrado de la microcuenca.

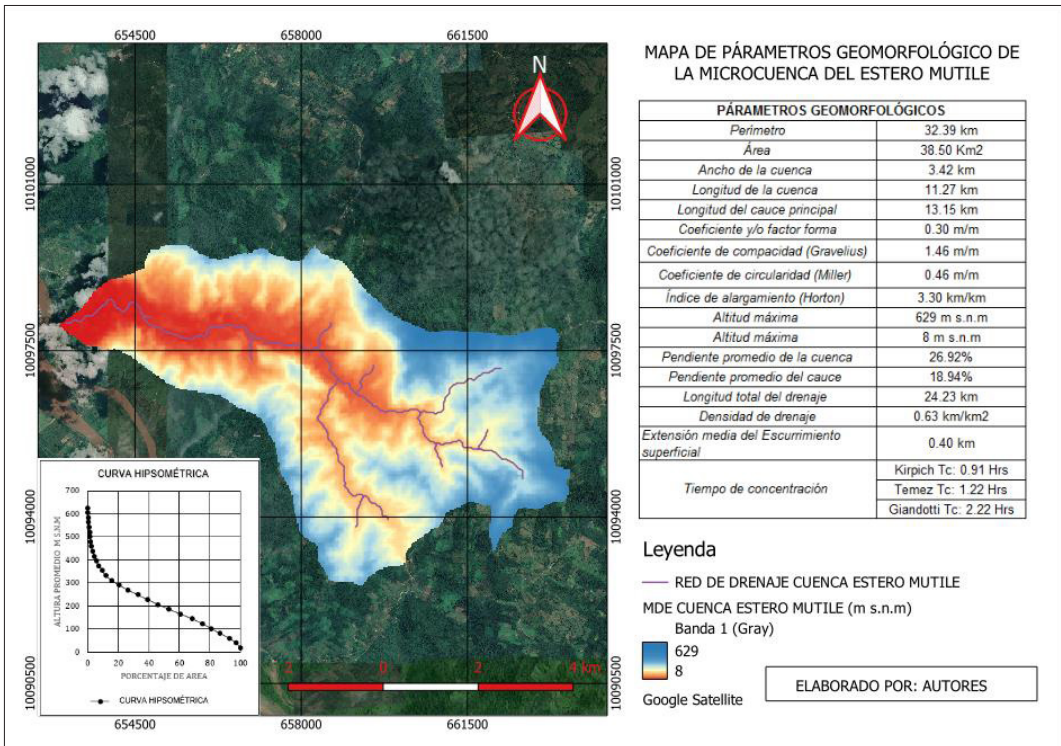


Figura 5. Mapa de resultados de Caracterización Geomorfológica de la microcuenca del estero Mutile. Fuente: (Corozo & Merino,2024)

Extensión media del Escurrimiento superficial

La distancia promedio que el agua de la precipitación que cae sobre la microcuenca del estero mutile tendrá que transportarse una distancia de 0.40 km hasta un cauce de agua cercano.

Tiempo de concentración

El período de tiempo que tarda en drenar el agua proveniente de la precipitación, desde el punto más lejano de la cuenca hasta el punto de salida o desembocadura. Fue calculado con diferentes métodos, dando los siguientes resultados: Kirpich 0.91 horas, método de Temez 1.22 horas y método de Giandotti 2.22 horas. Teniendo como base los valores de la (Tabla 8), que corresponden a los valores del tiempo de concentración en minutos, se puede determinar que el tiempo que tarda en recorrer el agua en la microcuenca del estero Mutile es lento. Al convertir a minutos los resultados del tiempo de concentración, se obtiene lo siguiente: Kirpich 54.6 min, Temez 73.2 min y Giandotti 133.2 min, al promediar estos valores, se obtiene una media de 87 minutos, lo que indica que el tiempo de concentración es lento.

Discusión

Sánchez et al. (2003) clasifican las cuencas hidrográficas en unidades que tienen un territorio

mayor a 500 km², subcuencas hidrográficas con una superficie que va desde 50 hasta 500 km², y microcuencas hidrográficas con territorios menores a 50 km². Según esta clasificación, la unidad territorial del Estero Mutile entra en la categoría de microcuenca al tener una superficie de 38.50 km².

En lo que concierne a la forma de la cuenca, los parámetros del factor forma, Los coeficientes (factor de forma, coeficiente de compacidad y coeficiente de circularidad) muestran que la cuenca del Estero Mutile tiene forma ligeramente alargada, oval-oblonga y aproximadamente alargada. Según Benavides et al. (2019). La densidad de drenaje influye en el comportamiento hidrológico y litológico de cada unidad territorial. En áreas donde la infiltración es difícil, se produce un mayor escurrimiento superficial, lo que aumenta la formación de la red de drenaje y resulta en una densidad de drenaje más elevada.

Campos A (1992) afirma que un incremento en la pendiente resulta en un aumento en la velocidad del flujo y una reducción en la infiltración, lo que conduce inevitablemente a un mayor riesgo de inundaciones y un aumento en la turbidez del agua. La pendiente media de la microcuenca del Estero Mutile es del 26.92%, lo que la clasifica como escarpada y le confiere una velocidad de flujo adecuada.

En relación con la curva hipsométrica, según Strahler (1952) afirma que cuenca en fase de vejez, corresponde en su mayoría a un tipo de cuenca erosionada o sedimentaria, la curva hipsométrica la de la microcuenca del Estero Mutile está asociada a la forma de un río viejo, lo que la clasifica como cuenca en estado de vejez.

El tiempo de concentración de una cuenca hidrográfica está principalmente influenciada por la morfología de la cuenca. (López & Mintegui, 1987). En la microcuenca del estero Mutile el TC varían desde 0.91 horas según el método de Kirpich, 1.22 horas con el método de Temez y 2.22 horas según el método de Giandotti.

Conclusión

La caracterización geomorfológica de la microcuenca del estero Mutile se realizó utilizando sistemas de información geográfica (SIG) a través del software QGIS 3.36.2. Con este software se llevaron a cabo los procedimientos para delimitar la microcuenca hidrográfica y, posteriormente, obtener los parámetros geomorfológicos mediante ecuaciones matemáticas. Como resultado de este procedimiento, se obtuvieron los parámetros de forma, relieve y red de drenaje. (Figura 5).

La altitud de la cuenca varía desde 8 m sobre el nivel del mar hasta 629 m sobre el nivel del mar. Por lo tanto, la cuenca hidrográfica presenta una pendiente promedio de 26.92%, clasificada como escarpada, mientras que el cauce tiene una pendiente de 18.94%, considerada como fuerte.

El perfil longitudinal son las líneas que trazan el curso de un cauce desde su nacimiento hasta su desembocadura. Este análisis se realizó en QGIS 3.36.2 utilizando la red de drenaje para obtener el perfil longitudinal.

A través del análisis realizado con la curva hipsométrica, se determinó que el estero Mutile se clasifica como un río antiguo, lo que indica que es una cuenca sedimentaria.

La red de drenaje de la microcuenca del Estero Mutile cuenta con 11 escurrimientos y una frecuencia de ríos de 0.29. Los tiempos de concentración varían desde 0.91 horas según el método de Kirpich, 1.22 horas con el método de Temez y 2.22 horas según el método de Giandotti.

Recomendaciones

Promover el uso de sistemas de información geográfica (SIG) como herramientas indispensables para estudios topográficos.

Gestionar planes de desarrollo para los habitantes de zonas geográficas mediante la implementación de SIG.

Integrar los sistemas de información geográfica (SIG) como herramientas principales en los procesos educativos. permitan. En esta sección se suelen mencionar también los trabajos futuros que se pueden realizar en el tema.

Impulsar un mayor estudio de las cuencas hidrográficas para obtener información detallada sobre estas importantes zonas naturales.

Referencias

- Ibañez, S., Moreno, H., & Gisbert, J. (2011). Morfología de las cuencas hidrológicas. <http://hdl.handle.net/10251/10782>
- Sánchez, A., García, R., & Palma, A. (2003). La cuenca hidrográfica: unidad básica de planeación y manejo de recursos naturales. México D.F: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. http://centro.paot.org.mx/documentos/semarnat/cuenca_hidrografica.pdf
- Loayza, J., & Berg, B. (2017). Delimitación y obtención de parámetros geomorfológicos de la cuenca del río Jubones, El Oro, Ecuador. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.15338.16324>
- Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt. (2006). Los Sistemas de Información Geográfica. *Geoenseñanza*, 11, 107-116.
- Mesa, J., & Ariza, F. (2019). Evaluación de la calidad en modelos digitales de elevaciones. *Bibliografía comentada. Grupo de Investigación Ingeniería Cartográfica, Universidad de Jaén, Jaén, España.* https://coello.ujaen.es/investigacion/web_giic/funquality4dem/documentos/Bibliografia_Comentada_def.pdf
- QGIS Project. (2024). QGIS Desktop 3.28 User Guide. <http://chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://docs.qgis.org/3.28/pdf/es/QGIS-3.28-DesktopUserGuide-es.pdf>
- Servicio Geológico de EE. UU. (2020). Listas, mapas y estadísticas de terremotos. Consultado el 18 de marzo de 2020 en <https://www.usgs.gov/natural-hazards/earthquake-hazards/lists-maps-and-statistics>
- Gravelius, H. (1914). *Flusskunde*. Goschen Verlagshandlung, Berlin. En Zavoianu, I. (1985). *Morphometry of Drainage Basins*. Amsterdam: Elsevier.
- Gaspari, F., Delgado, M., Rodríguez, A., & Besteiro, S. (2010). *Manual de manejo integral de cuencas hidrográficas*. La Plata, Argentina: Grupo de Manejo de Cuencas.
- Miller, V.C. (1953). A quantitative geomorphic study of drainage basin characteristics in the Clinch Mountain area, Virginia and Tennessee. Office of Naval Research, Geography Branch, Project NR 389-042, Technical Report, 3, Columbia University.
- Senisterra, G., Rodríguez, A., Gaspari, F., & Mazzucchelli, M. (2014). Aspectos morfométricos de la cuenca alta del arroyo Napaleofú, provincia de Buenos Aires, Argentina. *Revista Geográfica Venezolana*, 55(2), 287-303. <https://www.redalyc.org/pdf/3477/347733745004.pdf>
- Horton, (1932). Drainage basin characteristics. *Transactions of the American Geophysical Union*, 13, 350-361.
- Perez, J. (1979). *Fundamentos del ciclo hidrológico*. Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería,

Departamento de Meteorología e Hidrología, Caracas,
Venezuela.

Cañibano, A., Sastre, P., & D'Andrea, R. (2016). Área y
perímetro para la caracterización de formas. *Suma*, 83,
25-32. https://revistasuma.fespm.es/sites/revistasuma.fespm.es/IMG/pdf/s83-25-area_y_perimetro.pdf

IBAL S.A. (2009). Plan de ordenación y manejo ambiental
de la microcuenca de las Quebradas Las Panelas y La
Balsa. Recuperado de: http://www.cortolima.gov.co/sites/default/files/images/stories/centro_documentos/estudios/cuenca_panelas/DIAGNOSTICO/2.2ASPECTOS_BIOFISICOS.pdf

Kirpich, Z.P. (1940). Time of concentration of small agricultural
watersheds. *Journal of Civil Engineering*, 10(6), 362.

Témez, J.R. (1991). Extended and improved Rational Method.
Proc. XXIV Congress, Madrid, España. Vol. A, 33-40.

Giandotti, M. (1934). Previsione delle piene e delle magre
dei corsi d'acqua. *Memorie e Studi Idrografici*, Servizio
Idrografico Italiano, Report No. 2.

Campos Aranda, D. F. (1992). *Proceso del ciclo hidrológico* (2ª
ed.). México: Universidad Autónoma de San Luis Potosí.

Benavides et al. (2009). Caracterización y clasificación de la
red hidrográfica de la cuenca del río Bobo, departamento
de Nariño, Colombia. *Ingeniería e Investigación*, 29(3), 97-
101.

Strahler, A.N. (1952). Hypsometric (area-altitude) analysis of
erosional topography. *Bulletin of the Geological Society of
America*, 63, 1117-1142.

López., & Mintegui. (1987). *Hidrología de superficie*. Editorial
Salazar, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes,
Madrid, España.

Derecho ambiental: una visión aplicada de los principios ambientales en la normativa Ecuatoriana

Environmental law: an applied vision of regulatory environmental principles in Ecuador

Jorge Joaquín Jaramillo Moreno¹

¹Universidad de Guayaquil, Facultad de Ciencias Naturales, Av. Raúl Gómez Lince s/n y Av. Juan Tanca Marengo, Guayaquil, Ecuador.

Recibido 10 febrero 2024, recibido en forma revisada 10 abril 2024, aceptado 10 de mayo 2024, en línea 30 de junio 2024.

Resumen

El derecho ambiental es una rama transversal pero autónoma del Derecho. En esta disciplina jurídica y ecológica, los principios ambientales son pautas que fundamentan la correcta aplicación de derechos y apuntan a fortalecer la vida digna y la protección de la naturaleza con los elementos que la integran. La normativa ecuatoriana, en relación a instrumentos internacionales, ha marcado importantes avances en materia ambiental, lo que ha sido esencial para garantizar la protección de la naturaleza ante posibles daños ambientales. El objetivo perseguido fue evaluar la importancia de la identificación y aplicación de los principios más relevantes del derecho ambiental en el ordenamiento jurídico ecuatoriano. Como metodología aplicada, se recurrió a la investigación explicativa de corte analítica, utilizando técnicas la revisión bibliográfica, que incluyeron estudios de la jurisprudencia ecuatoriana, junto con el marco normativo nacional e internacional, encaminado a demostrar la necesidad de reforzar el conocimiento de la tutela efectiva de los derechos de la naturaleza. Lo expuesto, a través de la revisión crítica del ordenamiento jurídico ecuatoriano e instrumentos internacionales, con aportes significativos de sentencias de la Corte Constitucional del Ecuador.

Palabras clave: derecho ambiental, principios ambientales, jurisprudencia ambiental, derechos de la naturaleza, daño ambiental.

Abstract

Environmental law is a transversal but autonomous branch of Law. In this legal and ecological discipline, environmental principles are guidelines that support the correct application of rights and aim to strengthen a dignified life and the protection of nature with the elements that make it up. Ecuadorian regulations, in relation to international instruments, have marked important advances in environmental matters, which has been essential to guarantee the protection of nature against possible environmental damage. The objective pursued was to evaluate the importance of the identification and application of the most relevant principles of environmental law in the Ecuadorian legal system. As applied methodology, was used an analytical and explanatory research, through bibliographic review techniques, which included studies of Ecuadorian jurisprudence, with the national and international regulatory framework, aimed at demonstrate the need to reinforce the effective protection of rights of nature. The above, through the critical review of the Ecuadorian legal system and international instruments, with significant contribution of the Constitutional Court of Ecuador.

Keywords: environmental law, environmental principles, environmental jurisprudence, rights of nature, environmental damage.

Introducción

Hablar de principios ambientales, nos lleva a imaginar rieles de tren que, bien implementadas, coadyuvan a fundamentar la aplicación de derechos, fortalecer la vida digna de las personas, proteger el medio en

donde se desarrolla la vida y respetar la naturaleza junto con los elementos que la componen.

La protección referida, se sustenta en la necesidad del ser humano de atender posibles riesgos y daños ambientales producidos por su propia actividad. En respuesta a ello, la ecología, cuyo significado

* Correspondencia del autor:

E-mail: jorge.jaramillomo@ug.edu.ec.



Esta obra está bajo una licencia de creative commons: atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0. Los autores mantienen los derechos sobre los artículos y por tanto son libres de compartir, copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra.

etimológico proviene del griego oikos, referente a casa y logos, relativo a ciencia, funge un rol de ciencia que estudia los sistemas naturales de vida, su desarrollo y las interrelaciones de los organismos que coexisten con el ambiente (López y Ferri, 2006, p. 2).

El Código Orgánico del Ambiente (2017), entre su glosario de términos incluye la palabra ambiente, conceptualizándolo como: “sistema global integrado por componentes naturales y sociales, constituidos a su vez por elementos biofísicos, en su interacción dinámica con el ser humano, incluidas sus relaciones socioeconómicas y socioculturales”.

Precisamente, el término ecología ha sido acuñado por las ciencias naturales, al explicar la relación de los componentes bióticos con su ambiente. Sin perjuicio de aquello, en esta relación de elementos de los ecosistemas, resulta necesario vincular las ciencias naturales con las ciencias sociales, al incluir tanto a la naturaleza como lugar se reproduce y realiza la vida, con características propias, como a los organismos o elementos naturales que en ella habitan, donde se incluyen las personas, al influir y alterar su entorno ambiental (Martín, 1977, p. 11).

El derecho internacional, mediante la generación de instrumentos normativos y pronunciamientos judiciales, ha servido de inspiración para incorporar en la normativa interna de varios países, principios generales en materia ambiental, que apuntan a resolver controversias. Así pues, la positivización de principios en el marco legal ecuatoriano, pretende solucionar conflictos prácticos al momento de exigir y resolver sobre la aplicación de derechos ambientales, considerando su tutela jurídica constitucional (Observatorio Jurídico de Derechos de la Naturaleza, 2022, p. 28).

Bajo el umbral de la fundamentación del derecho escrito, los principios del derecho ambiental tienen sus inicios en el derecho internacional posterior a la segunda guerra mundial, al evidenciar el impacto negativo producido por la actividad del ser humano industrializado, en el ambiente en donde habita. Momento en el cual, la Declaración de los Derechos Humanos (1948), dio paso a diversas acciones encaminadas a la protección del ambiente, como la Declaración de Estocolmo (1972), sobre el medio humano, instrumento internacional erigido a proteger el ambiente como lugar donde se sustenta la vida humana.

Posteriormente, la Carta Mundial de la Naturaleza (1982), afianza lo conocido sobre la dependencia de la vida de la especie humana del funcionamiento ininterrumpido de los ecosistemas naturales, cuyos beneficios dependen de la protección a sus procesos ecológicos y la diversidad de sus formas de vida, resultando de un instrumento internacional no vinculante, pero en extremo relevante para afianzar los antecedentes en la protección de los derechos de la naturaleza.

En 1992, la Declaración de Río de Janeiro sobre el medio ambiente y el desarrollo, resulta de otro hito de la normativa ambiental internacional, destacando que el derecho al desarrollo debe ejercerse de forma equitativa a las necesidades sociales y ambientales de las generaciones presentes y futuras. Y así, otros instrumentos más del derecho ambiental internacional.

Con el devenir de los años, el reconocimiento a la naturaleza como sujeto de derechos, responde a un debate aún no finalizado, con diversas posturas, que excepcionalmente ciertos países han superado e incorporado entre su ordenamiento jurídico. Al respecto, en la Constitución de la República del Ecuador (CRE, 2008), de forma taxativa se ha incluido a la naturaleza y sus elementos como sujetos de protección, bajo el modelo del *sumak kawsay* o buen vivir, que se refiere a alcanzar la armonía de los seres humanos con los demás elementos de la naturaleza (Murcia, 2012, p. 94).

En referencia a lo indicado, el artículo 71 de la CRE (2008), norma que la naturaleza tiene derecho a que se respete integralmente su existencia, no solo al ser el lugar donde se desarrolla la vida, sino por su condición inherente como sujeto de derechos. En este punto, los principios del derecho ambiental configuran un pilar esencial en la defensa de los derechos de los elementos de la naturaleza, sus ciclos vitales y la protección de la vida en el planeta. Sin perjuicio del avance normativo y jurisprudencial existente en la materia, en la actualidad, resta generar una mayor difusión del conocimiento y la importancia en la aplicación de los principios, como eje transversal de la educación ambiental de la humanidad (Declaración de Estocolmo, principio 19).

En el 2015, la Asamblea General de las Organización de las Naciones Unidas, con la intención de transformar el planeta hacia un medio ambiente saludable, emite una proyección para quince años, denominada la Agenda 2030 para el desarrollo sostenible, que integra 17 objetivos y 169 metas, que fungen un rol relevante en la defensa de los derechos de la naturaleza y la aplicación de medidas para la regulación de las actividades humanas que producen o puedan producir impactos negativos o daños al medioambiente.

A lo anteriormente expuesto, principios como: el que contamina paga, responsabilidad integral, mejor tecnología disponible y mejores prácticas ambientales, desarrollo sostenible, in dubio pro natura, precaución, prevención, subsidiaridad, reparación integral, acceso a la información, participación, justicia ambiental, entre otros, se encuentran integrados en la normativa ecuatoriana. Muchos de ellos fueron concebidos producto de instrumentos internacionales y otros generados en la normativa interna ecuatoriana (Trujillo, 2021, p. 75).

Los principios aludidos, han sido parte de diversos pronunciamientos de la Corte Constitucional del

Ecuador, que buscan principalmente la evitación y/o restauración del daño, aplicándose en respuesta a un evento o posible evento que implique el riesgo, pérdida o detrimento de elementos y/o recursos naturales, resaltando que la naturaleza es sujeto de derechos, de cuya preservación depende la vida del ser humano, lo que implica, el adecuar la conducta de la humanidad al respeto del ambiente (Observatorio Jurídico de Derechos de la Naturaleza, 2022, p. 20).

El referido artículo 71 de la CRE (2008), textualmente indica que: “Para aplicar e interpretar estos derechos se observarán los principios establecidos en la Constitución, en lo que proceda”. En concordancia con lo citado, el artículo 395 íbidem, incluye cuatro numerales sobre los principios ambientales reconocidos en la norma suprema del Ecuador, que integran, modelos sustentables de desarrollo, políticas públicas ambientales, participación activa de grupos vulnerables y favorabilidad en la aplicación de disposiciones legales ambientales.

La CRE (2008), refuerza avances significativos en la protección del ambiente y sus elementos, reconociendo valores intrínsecos de la naturaleza, consistente con la búsqueda de alternativas de desarrollo sostenible, bajo la perspectiva biocéntrica que, por ende, abre las posibilidades del desarrollo de la personalidad de individuos y colectividades, aseguran un ambiente sano y la proyección de vida de los elementos de un ecosistema para garantizar el buen vivir (Gudynass, E., 2014, p. 177).

En ese marco, el presente estudio bibliográfico busca resaltar la importancia de la aplicación de los principios del derecho ambiental, desde la normativa ecuatoriana, con pronunciamientos relevantes emitidos por el máximo órgano de interpretación constitucional del Ecuador. Para ello, se considera el imperioso deber de difundir los principios ambientales, así como su fundamentación y aplicación para casos análogos. Razón por la cual, frente a la necesidad de garantizar la difusión y adecuada aplicación del conocimiento práctico sobre los principios ambientales, se apunta a resaltar su importancia, caracterizados por su estructura indeterminada que le permite en efecto, dar sentido a las normas (Polo, 2018, p. 226).

Materiales y Método

Metodología implementada

El método aplicado en la presente investigación fue de carácter explicativo de corte analítico, lo que permitió conocer el rango de acción y resaltar la importancia de los principios del derecho ambiental en la normativa ecuatoriana. Ello, con el fin de profundizar su dinámica práctica y argumentativa, evidenciando principalmente, pronunciamientos judiciales de la Corte Constitucional del Ecuador, que resaltan su versatilidad. Modo por el cual, a través del enfoque cualitativo se realizó la revisión bibliográfica de jurisprudencia constitucional, para contrastarla

con la aplicabilidad de los principios del derecho ambiental en la normativa ecuatoriana.

Así mismo, se realizó un análisis de fuentes secundarias, principalmente con criterios jurisprudenciales que afianzan la importancia de los principios del derecho ambiental, incluyendo normativa internacional y su comparación con la normativa nacional, para reforzar la defensa de los derechos de la naturaleza y los elementos que la integran.

El enfoque generado fue producto de una investigación explicativa, a fin de implementar los principios en las prácticas ambientales y en demás disciplinas transversales como en lo social y cultural, en torno a su exigibilidad, difusión y tutela efectiva. De esta manera, se resaltó la visión aplicada desde la normativa nacional en relación al escenario internacional en materia ambiental, dentro de la cual, los pronunciamientos de la Corte Constitucional del Ecuador, tienen un eje argumentativo cardinal.

Por esta razón, en lo concerniente a los materiales y métodos utilizados para el desarrollo de la investigación, se abordaron principalmente pronunciamientos de la Corte Constitucional del Ecuador, de acuerdo a sus avances jurisprudenciales más relevantes en materia ambiental, conforme lo establecido en la normativa ecuatoriana, considerada para el presente análisis.

Sobre lo manifestado, la CRE (2008) cumplió un papel fundamental en la identificación, comparación y evaluación de la importancia de los principios del derecho ambiental en el respeto y respaldo normativo de los derechos de la naturaleza y de los elementos (Murcia, 2012, p. 56). Dicha particularidad, inspirada en instrumentos internacionales como: la Declaración de Estocolmo (1972), la Carta Mundial de la Naturaleza (1982), la Declaración de Río de Janeiro (1992), los Objetivos de Desarrollo Sostenible de 2015, entre otros.

Los principios del derecho ambiental en el Ecuador

Para garantizar la correcta aplicación del tenor literal de la palabra principio, resultó necesario profundizar en el aporte sobre la importancia de la utilización de los principios del derecho en la normativa ecuatoriana. Con esto, se pudo resaltar que los principios, son enunciados que fungen de sustento para el desarrollo de preceptos normativos que, dependiendo de su fundamentación, pueden ser escritos o no escritos. Siendo así, los principios en general, proporcionan formas para ejercer derechos en un sentido amplio, al no estipular pautas específicas de conducta, como si se observa en el caso de las reglas (Polo, 2018, p. 243).

En el Ecuador, los principios y disposiciones legales han tenido un desarrollo medular a partir de la Constitución de la República del Ecuador de 2008 y su legislación secundaria en materia ambiental. En el 2017, casi una década después de la publicación de la norma suprema, entró en vigencia el Código Orgánico

del Ambiente, considerado como un avance interno relevante con rango de ley orgánica, inspirado en instrumentos internacionales, al encontrar normado textualmente en su artículo nueve, diez principios ambientales rectores. No obstante, esos principios enlistados taxativamente en el código, no son los únicos existentes en sede interna, menos aún en sede internacional, observando algunos más en la carta magna, leyes orgánicas y normativa secundaria en materia ambiental (Trujillo, 2021, p. 49).

La Declaración de Estocolmo de 1972, marcó el camino en el reconocimiento del derecho de la humanidad a vivir en un ambiente sano, incluyendo 26 principios que han complementado el desarrollo del derecho internacional ambiental, como disciplina que apunta a la protección del planeta como bien común de las generaciones actuales y futuras. En 1982, con la Carta Mundial de la Naturaleza, se reafirman los propósitos de respetar a la naturaleza sin perturbar sus procesos ecosistémicos, apuntando a la conservación de especies y los diversos hábitats donde se desarrolla la vida.

Los instrumentos expuestos, apuntan a generar un aprovechamiento responsable de recursos naturales, manteniendo su productividad óptima y continúa, sin que ello implique el poner en riesgo la integridad de los ecosistemas ni de sus elementos. Por su parte, la Declaración de Río de Janeiro de 1992, invocó nuevos principios en materia ambiental, como el de responsabilizar al agente que produce un daño de reparar integralmente al ecosistema y a las personas afectadas, manteniendo su objetivo principal, que los seres humanos constituyen el centro de atención en torno al desarrollo sostenible, resaltando su derecho a tener una vida saludable en armonía con la naturaleza.

Por su parte, en el 2015, la Agenda 2030, dedicó un apartado a resaltar su objetivo de ser una ambiciosa agenda universal, enfocando varios de sus objetivos a la protección general de todos los elementos de la naturaleza, incluyendo medidas para contrarrestar la contaminación existe en el aire, agua y suelo, lo cual, pretende reenfocar, gran parte de los 8 Objetivos de Desarrollo del Milenio proyectados del 2000 al 2015, bajo la medición de los procesos realizados, en especial, de las metas que incluyen objetivos claros para la protección de la naturaleza junto con los elementos bióticos y abióticos que coexisten y se interrelacionan.

Adicionalmente, en la referida agenda se reafirman los principios de la Declaración de Río sobre el medio ambiente y el desarrollo, haciendo énfasis en su principio 7, sobre las responsabilidades comunes pero diferenciadas, como principio fundamental en la defensa de la naturaleza, bajo la óptica de la política climática global, consolidando esfuerzos de los países más contaminantes, en asumir mayores costos para la mitigación, restauración y conservación de la vida en el planeta, lo que concuerda con el principio quien contamina paga.

Continuando con la revisión normativa, en el artículo 9 del Código Orgánico del Ambiente (2017), se lee de forma literal diez principios del derecho ambiental, con su conceptualización y ámbito de aplicación. Vale destacar, la obligación que marcan esos principios, al disponer que deberán ser reconocidos e incorporados en toda manifestación de la administración pública, es decir, deben incluirse en la motivación necesaria para sustentar cada actuación en las distintas esferas o materias del derecho, tanto en sede judicial como extrajudicial. De igual manera, deben ser incorporados en las decisiones públicas o privadas, al contener formas de actuar, en aras de garantizar el respeto de los derechos de la naturaleza y de las generaciones presentes y venideras (Martínez, 2019, p. 7).

En tal virtud, es pertinente conocer el contenido de los principios del derecho ambiental, que se sustentan en: a) Un fundamento constitucional, basado en un deber genérico de no degradar al medioambiente;

b) Un concepto jurídico indeterminado, al ser un mandato de optimización que, dependiendo del peso de cada principio conforme el caso concreto, prioriza o minimiza afectaciones de derechos; y, c) Un peso diferente según los bienes comprometidos, si bien es cierto, todos los principios son de igual jerarquía, en casos concretos, aplicando la ponderación de principios, se muestra la dirección en que debería buscarse la decisión de hacer o no hacer algo, dependiendo de los bienes jurídicos protegidos que se encuentren en juego (Lorenzetti, 2008, p. 87-88).

Jurisprudencia ambiental de la Corte Constitucional del Ecuador

El autor Ávila (2008), explica que el sistema jurídico ecuatoriano, a partir de su reconocimiento como estado constitucional de derechos, diversifica sus fuentes de derecho, no solo plasmándose como es habitual en el derecho escrito en la ley, sino, incluyendo los pronunciamientos jurisprudenciales, como en el caso del máximo órgano de interpretación constitucional en el país, las sentencias de instancias internacionales, entre otras.

Al respecto, la jurisprudencia, no excluye a las competencias del legislador de emitir leyes, al contrario, las refuerza, amplía, actualiza y complementa, lo cual, busca armonizar mecanismos de protección de derechos, utilizando los principios del derecho como eje fundamental para motivar los precedentes jurisprudenciales (Ávila, 2008, p. 30).

De esta manera, resulta necesario relacionar lo expuesto, con lo argumentado por el autor Zambrano (2011), sobre el precedente jurisprudencial como fuente del derecho, al resaltar el valor jerárquico de una norma interpretativa emitida por un órgano que tiene la facultad de hacerlo, en aplicación al principio del paralelo de las formas jurídicas, indicando que: "el texto de la norma interpretativa se incorpora y pasa a formar parte del texto de la norma interpretada" (p. 233).

Como se ha expuesto, la Corte Constitucional del Ecuador, es el máximo órgano de interpretación constitucional del país, encontrando entre sus atribuciones, la expedición de sentencias que constituyen jurisprudencia vinculante, de obligatorio cumplimiento en materia de garantías constitucionales, así como en los casos que este organismo estime pertinentes para su revisión.

La Corte Constitucional del Ecuador, ha realizado varias precisiones respecto a los principios constitucionales y derechos de la naturaleza. Sobre este punto, es primordial tomar en cuenta los artículos 11 y 427 de la CRE (2008), cuyo contenido principalmente indican que las normas constitucionales se interpretarán de forma integral y en caso de duda, bajo el sentido que más favorezca a la plena vigencia de los derechos y en apego a los principios de interpretación constitucional.

Dicha disposición, se complementa con los principios que rigen el ejercicio de los derechos, incluyendo así, los derechos de la naturaleza, disponiendo que, serán de directa e inmediata aplicación, debiendo así, respetar principalmente, su existencia, mantenimiento, regeneración de sus ciclos vitales, estructura, función y procesos evolutivos, incentivando al Estado y a todos los habitantes a promover su cuidado.

Sin perjuicio de no ser un pronunciamiento emitido por la Corte Constitucional del Ecuador, amerita hacer mención a la acción de protección No. 11121-2011-0010, conocida en la Sala Especializada de lo Penal de la Corte Provincial de Justicia de Loja (2011), siendo una resolución pionera en la protección de los derechos del río Vilcabamba y la población de Quinara y Vilcabamba en la provincia de Loja, al declarar con lugar la garantía planteada, resolviendo la vulneración del derecho que tiene la naturaleza que se le respete integralmente su existencia, así como, la protección y regeneración de sus ciclos vitales.

Lo expuesto, como consecuencia del depósito de grandes cantidades de piedra y materiales de construcción, para el ensanchamiento de una carretera, ocasionando daño a la naturaleza y cambio del caudal del río.

En la decisión judicial, se resaltó que la CRE (2008), ha marcado precedente para el reconocimiento de la naturaleza como sujeto de derecho, en atención a su artículo 71, al ser el lugar donde: “se reproduce y realiza la vida”. Es así que, entre los argumentos generados en la resolución judicial referida, se enfatizó en la importancia de la naturaleza y la protección de sus ciclos vitales, generando conciencia sobre los denominados daños generacionales que, por su magnitud, no afecta únicamente a las generaciones actuales, sino que impacta a generaciones futuras.

Lo manifestado, se complementa perfectamente con el principio del desarrollo sostenible, incluido en el numeral 3 del artículo 9 del Código Orgánico del Ambiente, el cual refuerza procesos dinámicos de

diversos ámbitos para: “satisfacer las necesidades de las actuales generaciones, sin poner en riesgo la satisfacción de necesidades de las generaciones futuras”. Finalmente, la sentencia indica también que, en caso de conflicto entre dos intereses constitucionales protegidos, la solución debe ser vista desde la óptica de los principios constitucionales del derecho ambiental y los elementos fácticos del caso.

La Corte Constitucional del Ecuador (2023), en aras de resaltar la importancia de los pronunciamientos jurisprudenciales, que proveen una visión amplia de la aplicación de los principios del derecho ambiental, en respeto a los principios de la Constitución de la República del Ecuador, ha desarrollado una Guía de Jurisprudencia Constitucional sobre los derechos de la naturaleza, dentro del cual, analiza los casos más relevantes que han cursado por el máximo órgano de interpretación constitucional del país.

De esta forma, se aprecia la relevancia de la implementación de los principios en materia ambiental en el Ecuador, mismos que se sustentan en instrumentos internacionales y normativa interna, garantizando la protección de la naturaleza como sujeto y titular de derechos. Esta guía, complementa el estudio, al profundizar los conocimientos sobre principios ambientales aplicados en casos prácticos.

En el 2021, dentro del Caso No. 1149-19-JP/20, la Corte Constitucional del Ecuador emitió la Sentencia No. 1149-19-JP/21 (2021), a favor del Bosque Protector Los Cedros, ubicado en la provincia de Imbabura, cantón Cotacachi, marcando un precedente importante en la protección de la naturaleza, el derecho al agua, la participación ciudadana, en aras de contar con un ambiente sano, al profundizar en la distinción doctrinaria y práctica los principios ambientales de precaución y prevención.

A lo largo de la decisión judicial, se resaltó el derecho a la naturaleza como valores y principios constitucionales, junto con el ordenamiento jurídico y su alcance práctico en concreto.

Sin perjuicio del rol principal que poseen los principios aludidos, resulta importante considerar lo establecido en el numeral 5 del artículo 9 del Código Orgánico del Ambiente (2017), sobre la conceptualización del principio in dubio pro natura, cuyo sentido práctico se desglosa con la distinción jurídica entre el principio de favorabilidad pro natura y el principio in dubio pro natura, motivando una distinción axiológica, el primero relacionándose con el: “aplicar la norma y la interpretación que más favorezca la efectiva vigencia de los derechos y garantía”; y, el segundo refiriéndose a que: “se aplica en caso de que exista duda en la aplicación de normas de carácter ambiental”, generando dos condiciones yuxtapuestas, tanto la priorización de derechos que versen exclusivamente sobre normativa ambiental, y la existencia de dudas en la aplicación de normas ambientales (Solano y Marín, 2024, p. 17).

Por su parte, el Código Orgánico del Ambiente (2017), en su artículo 9, numerales 7 y 9, conceptualiza los principios de precaución y prevención, indican para el de precaución, que debe aplicarse cuando: “no exista certeza científica sobre el impacto o daño que supone para el ambiente”, culmina normando que el citado principio actuará a manera de refuerzo del principio de prevención. Por su parte, sobre el segundo, establece que debe aplicarse cuando: “exista certidumbre o certeza científica sobre el impacto o daño ambiental que puede generar una actividad o producto”.

Es preciso señalar que, en la sentencia del Bosque Protector Los Cedros, de los nueve miembros que integran el pleno de la Corte Constitucional, se presentaron siete votos a favor, entre ellos cuatro votos concurrentes y dos votos salvados, distanciándose del criterio de mayoría. Entre la decisión de mayoría, los votos concurrentes y votos salvados, se destaca una densa argumentación en la aplicación de los principios de precaución y de prevención para el caso estudiado. Ahora bien, la Guía de Jurisprudencia Constitucional del Ecuador (2023), refiere tres elementos indicados en la decisión judicial, que integran al principio de precaución, siendo: el riesgo potencial de daño grave e irreversible, la incertidumbre científica sobre estas consecuencias negativas, y la adopción de medidas protectoras oportunas y eficaces por parte del Estado. Los elementos indicados, se sustentan en instrumentos internacionales, la norma suprema, legislación ambiental y bloque de constitucionalidad (p. 50).

En cuanto al principio de desarrollo sostenible, la Corte Constitucional en su Sentencia No. 2167-21-EP/22 (2022), sobre el Caso No. 2167-21-EP, en relación a la contaminación del Río Monjas, ubicado en el cantón Quito, resalta que: “no es posible el desarrollo sostenible sobre un ambiente degradado” (p. 27).

El aprovechamiento y uso de los recursos hídricos requiere que en la gestión del agua se mantenga un suministro suficiente de líquido vital de buena calidad y al mismo tiempo preserve adecuadamente las funciones hidrológicas, biológicas y químicas de los ecosistemas de las cuencas hídricas (Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua, 2014). Así mismo, en la resolución invocada, se incorpora el derecho a la ciudad, plenamente vinculado con el principio de desarrollo sostenible, considerado como derecho difuso, poco aplicado en la práctica, que busca armonizar los derechos de los habitantes con su ecosistema.

Para el caso en concreto, la Corte argumentó que el Municipio de Quito, no observó ni aplicó el derecho a la ciudad, generando perjuicio para quienes habitan cerca de su caudal y de las quebradas, así como, graves consecuencias para el ambiente urbano y su el ecosistema del río Monjas, observando un avance significativo en materia de derechos de los ecosistemas.

Es así, que el referido pronunciamiento judicial, resalta la importancia de contar con un marco normativo encaminado a establecer principios y reglas, que fomenten la protección de los derechos de la naturaleza, el desarrollo sostenible, responsabilidad integral, quien contamina paga, entre otros, con la finalidad de responsabilizarse por los daños ocasionados, para su reparación integral.

Modo por el cual, mediante la correcta implementación de los principios del derecho ambiental, se afianza el respeto, protección, restauración de la naturaleza, conservación, tratamiento, diseño, uso eficiente de recursos y sus interrelaciones con los ecosistemas y sus habitantes, ejerciendo un equilibrio ambiental y social de la ciudad y los derechos de la naturaleza.

Al respecto, el principio de reparación integral, establecido tanto en el artículo 9 numeral 9 del Código Orgánico del Ambiente, en cuyo contenido, encontramos su concepto, al ser un conjunto de: “acciones, procesos y medidas, incluidas las de carácter provisional, que aplicados tienden fundamentalmente a revertir impactos y daños ambientales; evitar su recurrencia; y facilitar la restitución de los derechos de las personas, comunas, comunidades, pueblos y nacionalidades afectadas” (2017). En concordancia con lo citado, considérese los artículos 396 y 397 de la CRE (2008), que muy concretamente, indican que la responsabilidad por daños ambientales es objetiva y que todo daño conlleva obligatoriamente, a la obligación de restaurar integralmente los ecosistemas e indemnizar a las personas afectadas.

A su vez, la Sentencia No. 22-18-IN/21 (2021), aborda la protección de los manglares y los derechos de la naturaleza, incluyendo las actividades productivas o de infraestructura en su frágil ecosistema, la participación ciudadana, la consulta previa, vinculada a principios constitucionales generales y ambientales. Lo enunciado, motivó la invocación del principio in dubio pro natura, adoptando la decisión que de mejor manera permita la protección de los derechos, que en el caso concreto era declarar la inconstitucionalidad de los artículos 104 numeral 7, y 121 de Código Orgánico del Ambiente y los artículos 462 y 463 de su Reglamento, cuya norma generaba ambigüedad y contradecía la CRE (2008), vulnerando la seguridad jurídica, los derechos de la naturaleza y el ambiente sano y equilibrado.

La sentencia pone sobre la mesa, la necesidad de contar con normativa acorde a la CRE (2008). Por lo cual, no por el hecho de encontrar reglas o normas que se encuentren positivizadas, quiere decir que son legítimas o no vulneran derechos. Para ello, formaron parte del análisis, principios constitucionales como el de legalidad, de supremacía constitucional, de reserva de ley, entre otros. Entre lo resuelto, se reconoció a los manglares como titulares de derechos, declarando la inconstitucionalidad de los artículos 121 y parte del numeral 7 del artículo 104 del Código Orgánico del Ambiente (2017), sobre las actividades permitidas

en los ecosistemas de manglar, dado que este último textualmente refería: “Otras actividades productivas de subsistencia y de infraestructura pública que cuenten con la autorización expresa de la Autoridad Ambiental Nacional y que ofrezcan programas de reforestación y recuperación del ecosistema”.

La Corte motivó que el citado numeral, al emplear un genérico indeterminado de “otras actividades productivas”, y no incluir la frase “no destructivas del manglar”, permitiría realizar actividades productivas que puedan poner en alto riesgo o afectar directamente los manglares. Se agregó que, si bien existe un filtro para realizar esas otras actividades productivas, que estaría supeditado a la autorización de la autoridad ambiental nacional y realizar programas de reforestación, esto puede implicar autorizaciones discrecionales sin una reforestación adecuada, dejando un vacío permisivo para la afectación de este frágil ecosistema. Habría que decir también, que la Corte profundizó su análisis bajo la premisa que el valor ecológico que tiene la conservación de los manglares, es mayor que el aprovechamiento que puedan generar sus tierras o sus recursos (Sentencia No. 22-18-IN/21, 2021, párr. 68).

El principio de prevención, fue incorporado entre la motivación de la resolución, al requerir la adopción de medidas eficaces y oportunas, que eviten impactos ambientales negativos. Así mismo, como lo expresa el voto concurrente del Juez Agustín Grijalva, el principio in dubio pro natura, es importante para el presente caso, al evidenciar que el sentido más favorable para la protección de la naturaleza en relación al numeral analizado, es declarar inconstitucional la frase “otras actividades productivas”.

Lo dicho, dado que uno de los deberes más altos del Estado es proteger los derechos humanos y los derechos de la naturaleza, condicionando la libertad legislativa a introducir posibles reformas regresivas en la legislación ambiental.

Se argumentó además, que el permitir que una autoridad administrativa autorice actividades productivas indeterminadas, contraviene el principio de reserva de ley establecido en el artículo 133 de la CRE (2008), que establece que los derechos deben desarrollarse mediante ley orgánica. Es así, que se resolvió expulsar la frase “otras actividades productivas”, y modificar el referido numeral, al contravenir también a la seguridad jurídica, modulándola de la siguiente manera: “Infraestructura pública que cuenten con autorización expresa de la Autoridad Ambiental Nacional y que ofrezcan programas de reforestación” (Sentencia No. 22-18-IN/21, 2021, párr. 167.2).

En lo concerniente a los principios del derecho ambiental, establecidos en el artículo 9 del Código Orgánico del Ambiente, se puede observar, la aplicación de su numeral 6, sobre el acceso a la información, participación y justicia ambiental,

especialmente en lo concerniente a la participación hacia una justicia ambiental. El principio antes dicho guarda relación con los principios 10, 20 y 22 de la Declaración de Río de Janeiro (1992) sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, que establecen que la mejor forma de tratar temas ambientales, es mediante la participación de todas y todos los interesados.

Los principios indicados agregan que, toda persona tendrá acceso adecuado a la información sobre el medio ambiente que dispongan las autoridades públicas, incluyendo actividades que puedan representar riesgos a las comunidades y a los ecosistemas.

Otro de los instrumentos internacionales que tratan sobre la participación en materia ambiental, es el denominado Acuerdo de Escazú (2018), ratificado por el Ecuador en el 2020, que tiene como objeto el garantizar la implementación de los derechos de acceso a la información ambiental, participación pública en los procesos de toma de decisiones ambientales y acceso a la justicia en asuntos ambientales. En el acuerdo en mención, se resaltan también principios como el de progresividad y no regresión, precaución, prevención, entre otros, contribuyendo en la protección de las generaciones presentes y futuras, a vivir en un ambiente sano y al desarrollo sostenible.

Finalmente, es necesario incluir la Sentencia No. 253-20-JH/22 (2022), producto de una acción de habeas corpus sobre los derechos de la naturaleza y animales como sujetos de derechos, denominado Caso Mona Estrellita, una mona chorongo llamada “Estrellita”, que había vivido 18 años en una vivienda humana con una mujer que se identificaba como su madre, situación que fue conocida por las autoridades públicas, iniciando un proceso administrativo que incluía el decomiso del animal, con la finalidad de otorgar la custodia del espécimen a un Centro de Manejo autorizado por la Autoridad Ambiental Nacional. Mediante la garantía constitucional planteada, la accionante pretendía conseguir una licencia de tenencia de vida silvestre y devolución de la mona chorongo, pretensión que fue negada por la Autoridad Ambiental al considerar la necesidad de proteger a la naturaleza y por cuanto, cuando fue interpuesta la acción, la mona chorongo ya había fallecido.

Esta resolución trae consigo el principio interespecie, no incluido en el artículo 9 del Código Orgánico del Ambiente, el cual garantiza la protección de los animales, abordando sus características específicas, ciclos vitales, funciones, estructuras, cadena trófica y procesos evolutivos de cada especie. Se sustenta además que, el principio permitió observar que existen derechos que solo pueden garantizarse con relación a las características de cada especie. Este principio ambiental, está interconectado con el principio de interpretación ecológica, el cual enfatiza el respeto de las interacciones biológicas existentes

entre las poblaciones e individuos de cada especie (Sentencia No. 253-20-JH/22, 2022, párr. 98 - 100).

La sentencia aludida resulta novedosa en materia de protección a los derechos de los animales, vinculando los derechos a la vida y a la integridad física, con los principios previamente expuestos, dado que, las interacciones biológicas son primordial para la interdependencia, interrelación y equilibrio de los ecosistemas. Lo que no puede ser materia de vulneración de derechos, es el depredador que se alimenta de otro animal como su presa, en cumplimiento a su cadena tróficas.

Por consiguiente, las autoridades públicas están obligadas a garantizar que las interacciones biológicas de las especies de un ecosistema, sea equilibrada. Es así que, la Corte Constitucional, reafirma el reconocimiento de los animales como sujetos de derechos, protegidos bajo el artículo 71 de la CRE (2008), en aplicación a los principios de interespecie e interpretación ecológica incorporados en su análisis (Sentencia No. 253-20-JH/22, 2022, párr. 102 - 104).

Entre las referencias bibliográficas del proceso referido, se cita el caso de la chimpancé Cecilia, privada arbitraria e ilegalmente de su libertad en el zoológico de Mendoza, Argentina. En ella, se reclamaba su traslado al Santuario de Chimpancés en Sao Paulo, Brasil, dado que permaneció por más de 30 años como prisionera en Mendoza, por decisión arbitraria de las autoridades del zoológico, encontrándose, en un estado deplorable y solitario, sin acceso a áreas verdes ni espacio suficiente para su recreación. Esta situación, afectó sus derechos básicos como su vida digna en libertad.

El caso, obtuvo una sentencia favorable por parte del Tercer Juzgado de Garantías del poder judicial de Mendoza, conforme expediente No. 72.254/15 (2016), decidiendo declararla como sujeto de derechos no humano, disponiendo su traslado al Santuario de Sorocaba, en Brasil. Así mismo, se solicitó a la legislativa de Mendoza, proveer a las autoridades competentes, las herramientas legales necesarias para hacer cesar la grave situación de encierro en condiciones inapropiadas de animales del zoológico como el elefante africano, los elefantes asiáticos, leones, tigres, osos pardos, entre otros, y de todas las especies que no pertenecen al ámbito geográfico y climático de la provincia de Mendoza.

Resultados

Como se ha podido observar, la importancia de los principios radica en la versatilidad de su aplicabilidad a través de los diversos instrumentos de los sistemas jurídicos, a fin de dar respuesta a la necesidad de proteger al ambiente y sus elementos.

Es así que, desde la visión del derecho escrito, los principios del derecho ambiental fungen un rol prioritario en el espíritu de un ordenamiento

normativo, permitiendo: “lograr la salvaguarda del medio natural, ya que este es el sustento de la vida en el planeta” (García, 2019, p. 311).

Razón por la cual, resulta imprescindible, compartir el contenido de los principios, tomando en cuenta su evolución histórica en el escenario internacional, la fundamentación para su respaldo y su proyección en el ordenamiento jurídico para la protección de la naturaleza.

En atención a la metodología y materiales aplicados, se analizaron cinco pronunciamientos judiciales, en materia de principios y derechos ambientales, cuatro principalmente emitidos por la Corte Constitucional del Ecuador, y uno generado en Corte Provincial, demostrando clara y objetivamente, la motivación existente por los organismos judiciales, para proteger a la naturaleza y sus componentes mediante la utilización de principios ambientales en casos generales y concretos. Vale enfatizar, que los casos expuestos de la Corte Constitucional del Ecuador no son los únicos en materia ambiental, pero sí, se encuentran entre los más relevantes.

De tal manera, sería insuficiente, limitado y por ende atentatorio de derechos, el únicamente considerar la fundamentación ius positivista del derecho ambiental, para garantizar su protección. Es decir, que los principios del derecho ambiental no solo deben basarse en el derecho escrito en la norma, sino se debe considerar la necesidad de respetar las diversas fundamentaciones existentes, como la historicista, la ius naturalista, entre otras.

Lo arribado, se sustenta en el artículo 11 numerales 3, 5 y 6 de la CRE (2008), donde se indica que: “Los derechos serán plenamente justiciables. No podrá alegarse falta de norma jurídica para justificar su violación o desconocimiento, para desechar la acción por esos hechos ni para negar su reconocimiento”. Ello, en concordancia con el artículo 426 previamente invocado, sobre la sujeción de todas las personas, autoridades e instituciones a la norma suprema del país.

Conclusión

La normativa ecuatoriana en materia ambiental, se ha edificado con corrientes internacionales, bajo la protección de los derechos de los seres humanos y de la naturaleza, no solo al ser el lugar donde se desarrolla la vida, sino por su tutela inherente como sujeto de protección.

En tal virtud, se ha enfatizado que los principios del derecho ambiental, tienen como finalidad dar sentido al ordenamiento jurídico, exponiendo posibles soluciones prácticas a problemas legales cuando se presentan colisiones entre ellos. Sobre este particular, los instrumentos internacionales, la normativa ecuatoriana junto con interpretaciones de la Corte Constitucional del Ecuador, son fuentes del

derecho que fortalecen la protección de la naturaleza y sus elementos ante posibles daños al ambiente.

Por ello, se considera necesaria la difusión académica y profesional de los principios reconocidos en el ordenamiento jurídico en materia ambiental, para dotar de mayor aplicabilidad al momento de exigir o defender derechos. Así pues, se acoge el argumento de concebir a los principios ambientales, como rieles encauzados que permiten garantizar la defensa de los derechos de los individuos, colectividades, de la naturaleza y sus elementos.

En atención a lo manifestado, la inspiración del escenario internacional en la normativa interna del Ecuador es palpable, y su aplicación es necesaria para casos concretos. Es así, que la aplicabilidad se sustenta de lo general a lo específico, incluyendo normas, jurisprudencia y costumbre, existiendo actualmente, un repositorio legal realmente interesante, de pronunciamientos de la Corte Constitucional del Ecuador en materia ambiental.

Lo argumentado, considerando que la aplicación de la normativa ecuatoriana es de obligatorio cumplimiento en sede interna y que parte de la normativa internacional, que no es posee fuerza vinculante, genera protecciones basadas en recomendaciones que, en complemento con la normativa y los principios aplicables, aumentan la efectividad ante eventos que puedan acaecer.

Como se ha observado, la Corte Constitucional del Ecuador, entre sus pronunciamientos jurisprudenciales, ha reconocido la relevancia de los principios del derecho ambiental, necesarios para garantizar la efectividad en la protección, conservación y restauración de los ecosistemas y los elementos que lo integran.

El generar espacios de reflexión sobre la ineludible utilización de principios ambientales, sin que necesariamente se encuentren expresamente reconocidos en la Constitución de la República del Ecuador o en la legislación ambiental, brinda un amplio rango de acción en el respeto de derechos en general, lo que nos provee de herramientas necesarias para su respaldo a nivel ambiental. Lo expuesto, además de la motivación jurídica generada por la jurisprudencia constitucional, que debe ser ampliamente difundida al resultar preponderante en la interpretación, análisis y aplicación de los derechos de la naturaleza y sus componentes.

En virtud de lo invocado, resulta plenamente sustentado y motivado el objetivo del estudio, que incluyó la revisión tanto del ordenamiento jurídico ecuatoriano, que están integrados por criterios interpretativos emitidos en sentencias de la Corte Constitucional del Ecuador, que complementa el rango de aplicación de los derechos y los principios en materia ambiental, con sus decisiones vinculantes a manera de la normativa primaria y suficiente.

Es así, que la normativa ecuatoriana, como pionera en el reconocimiento de la naturaleza como sujeto derechos, también se compone de norma constitucional, orgánica y reglamentaria que, de la mano con criterios jurisprudenciales del máximo órgano de interpretación constitucional en el país, cumplen un rol medular en la protección de los derechos de la naturaleza, mediante la utilización práctica de principios del derecho ambiental y principios del derecho en general, volcando la atención del escenario internacional en lo atinente a la progresividad de los derechos del ambiente y de los elementos que lo componen.

Recomendaciones

En armonía a lo analizado, se recomienda ampliamente continuar con investigaciones que incluyan principios del derecho ambiental, con la intención de generar una mejor aplicabilidad de los derechos de la naturaleza y los organismos que la integran, lo que permitirá a su vez, un mayor sustento argumentativo en caso de existir una colisión de derechos constitucionales.

Así mismo, se sugiere generar revisiones periódicas de la jurisprudencia nacional e internacional en temas ambientales, en aras de resaltar la importancia de los principios del derecho ambiental para la adecuación de la conducta humana en el respeto a la naturaleza, sus ciclos vitales y la biodiversidad que conforma cada ecosistema con sus debidas particularidades, siendo el hábitat donde se desarrolla la vida de las especies nativas, endémicas y exóticas, tanto la flora y la fauna de cada sector, que los seres humanos tienen el deber de preservar para las generaciones actuales y futuras.

Referencias

- Ávila Santamaría, R. (Ed.). (2008). La Constitución del 2008 en el contexto andino. Análisis desde la doctrina y el derecho comparado. Ministerio de Justicia y Derechos Humanos. http://bivisce.corteconstitucional.gob.ec/bases/biblio/texto/La_Constitucion_2008_RAS/La_Constitucion_2008_RAS.pdf
- Código Orgánico del Ambiente. (2017, 12 de abril). Asamblea Nacional de la República del Ecuador. Suplemento del Registro Oficial No. 983.
- Constitución de la República del Ecuador. (2008, 20 de octubre). Asamblea Nacional Constituyente de la República del Ecuador. Registro Oficial No 449.
- Corte Constitucional del Ecuador. (2023). Guía de jurisprudencia constitucional. Derecho de la naturaleza. Centro de Estudios y Difusión del Derecho Constitucional. <http://bivisce.corteconstitucional.gob.ec/site/php/level.php?lang=es&component=95>
- Declaración de Estocolmo sobre el Medio Humano, 16 de junio, 1972, https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/29567/ELGP1StockD_SP.pdf?sequence=5&isAllowed=y
- Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, 14 de junio, 1992, <https://www.un.org/spanish/esa/sustdev/documents/declaracionrio.htm#:~:text=PRINCIPIO%2014,nocivas%20para%20la%20salud%20humana>
- Declaración Universal de Derechos Humanos, 10 de diciembre, 1948, <https://www.un.org/es/about-us/universal-declaration-of-human-rights>

- García, M. P. (2019). Efectividad de las normas medioambientales. En Y. Águila, C. De Miguel, V. Tafur y T. Parejo. (Eds.). Principios del derecho ambiental y agenda 2030 (289-312). Tirant lo Blanch.
- Gudynass, E. (2014). Derechos de la naturaleza: Ética biocéntrica y políticas ambientales. Programa Democracia y Transformación Global
- Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua. (2014, 06 de agosto). Asamblea Nacional de la República del Ecuador. Segundo Suplemento del Registro Oficial No. 305.
- López Sela, P. y Ferro Negrete, A. (2006). Derecho Ambiental. Editorial Iure.
- Lorenzetti, R. L. (2008). Derecho Ambiental. Editorial Porrúa.
- Martín Mateo, R. (1977). Teoría del Derecho Ambiental. Instituto de Estudios de Administración Local de Madrid.
- Martínez Moscoso, A. (2019). El nuevo marco jurídico en materia ambiental en Ecuador. Estudio sobre el Código Orgánico del Ambiente. Actualidad Jurídica Ambiental, (89), 3-32. https://www.actualidadjuridicaambiental.com/wp-content/uploads/2019/04/2019_04_08_Martinez_Nuevo-marco-juridico-ambiental-Ecuador.pdf
- Murcia Riaño, R. M. (2012). La naturaleza con derechos. Instituto de Estudios Ecologistas del Tercer Mundo.
- Observatorio Jurídico de Derechos de la Naturaleza. (2022). Vademécum jurídico sobre los derechos de la naturaleza. Archivo digital. <https://www.derechosdelanaturaleza.org.ec/>
- Polo Pazmiño, E. J. (2018). Los principios de aplicación de los derechos en la Constitución ecuatoriana: Una mirada desde la doctrina y la jurisprudencia. Revista Lus Humani, 7, 224-245. <https://doi.org/10.31207/ih.v7i0.194>.
- Reglamento al Código Orgánico del Ambiente. (2019, 12 de junio). Decreto Ejecutivo No. 752. Registro Oficial Suplemento No 507.
- Sentencia No. 022-18-IN/21 Caso Manglares. (2021, 08 de septiembre). Corte Constitucional del Ecuador (Ramiro Ávila, Juez Ponente). <https://portal.corteconstitucional.gob.ec/FichaRelatoria.aspx?numdocumento=022-18-SEP-CC>
- Sentencia No. 253-20-JH/22 Caso Mona Estrellita. (2022, 27 de enero). Corte Constitucional del Ecuador (Teresa Nuques, Jueza Ponente). <https://portal.corteconstitucional.gob.ec/FichaRelatoria.aspx?numdocumento=253-20-JH/22>
- Sentencia No. 1149-19-JP/21 Caso Bosque Protector Los Cedros. (2021, 10 de noviembre). Corte Constitucional del Ecuador (Agustín Grijalva, Juez Ponente). <https://portal.corteconstitucional.gob.ec/FichaRelatoria.aspx?numdocumento=1149-19-JP/21>
- Sentencia No. 2167-21-EP Caso Río Monjas. (2022, 19 de enero). Corte Constitucional del Ecuador (Ramiro Ávila, Juez Ponente). <https://portal.corteconstitucional.gob.ec/FichaRelatoria.aspx?numdocumento=2167-21-EP/22>
- Sentencia No. 11121-2011-0010 Caso Río Vilcabamba. (2011, 30 de marzo). Sala Especializada de lo Penal, Penal Militar, Penal Policial y Tránsito de la Corte Provincial de Justicia de Loja (Luis Sempértegui, Juez Ponente). <https://procesosjudiciales.funcionjudicial.gob.ec/actuaciones>
- Sentencia No. 72.254/15 Caso Chimpancé Cecilia. (2016, 03 de noviembre). Tercer Juzgado de Garantías de Mendoza, Argentina (María Alejandra Mauricio, Jueza Ponente). <https://img.lpderecho.pe/wp-content/uploads/2021/04/Exp-P-72.254-15-LP.pdf>
- Solano Paucay, V. y Marín, M. D. (2024). Derechos de la Naturaleza y la jurisprudencia constitucional en Ecuador. Foro: Revista de Derecho, (41), 7-27. <https://doi.org/10.32719/26312484.2024.41.1>
- Trujillo Cárdenas, J.A. (2021). El Ecuador y su cumplimiento internacional en materia de derecho al medio ambiente sano a través de la incorporación de los principios internacionales del Derecho Ambiental en la normativa nacional. Avances y críticas. USFQ Law Review, 8 (2), 43-75. <https://doi.org/10.18272/ulr.v8i1.2024>
- Zambrano Álvarez, D. (2011). Jurisprudencia vinculante y precedente constitucional. En J. Montaña. (Ed.). Apuntes de derecho procesal constitucional. Aspectos generales, (pp. 227 - 253). Centro de Estudios y Difusión del Derecho Constitucional. http://bivice.corteconstitucional.gob.ec/bases/biblio/texto/Apuntes_1/Apuntes_derecho_procesal_constitucional_1.pdf

Estimación del descenso de volumen del embalse Mazar en Ecuador mediante teledetección

Estimation Of The volume decrease of the Mazar reservoir in Ecuador using remote sensing

Miguel Torres Campozano ¹ & Antonella Bermúdez Zambrano ¹

¹Universidad de Guayaquil, Facultad de Ciencias Naturales, Av. Raúl Gómez Lince s/n y Av. Juan Tanca Marengo, Guayaquil, Ecuador

Recibido 10 febrero 2024, recibido en forma revisada 10 abril 2024, aceptado 10 de mayo 2024, en línea 30 de junio 2024.

Resumen

En este trabajo se estimó el descenso del nivel del principal embalse para generación eléctrica de Ecuador, Mazar, entre los meses de agosto de 2023 a noviembre de 2023 y entre los meses de enero de 2024 y abril de 2024 por medio de imágenes Sentinel-2 y uso del índice de agua de diferencia normalizada (NDWI). Además, se estimó el volumen de agua contenido en el embalse mediante el uso de modelos digitales de elevación del área del embalse y el perímetro del espejo de agua obtenido a partir de la clasificación NDWI. Se encontró que el nivel del embalse descendió 30 m de su cota máxima en noviembre de 2023, y su volumen se redujo al 37,47% de la capacidad total del embalse, mientras que, en abril de 2024, la cota se redujo 42 m, llegando a los 2111,45 m.s.n.m., a tan solo 1 m de la cota mínima de seguridad, mientras que su volumen se redujo al 30.97%.

Palabras clave: GIS, Sentinel 2, NDWI, DEM, ALOSDEM.

Abstract

In this work, the decrease in the level of the main reservoir for electricity generation in Ecuador, Mazar, was estimated between August 2023 to November 2023 and between January 2024 and April 2024 using Sentinel 2 images and the normalized difference water index (NDWI). In addition, the volume of water contained in the reservoir was estimated by using digital elevation models of the reservoir area and the perimeter of the water surface obtained from the NDWI classification. It was found that the level of the reservoir dropped 30 m from its maximum level in November 2023, and its volume was reduced to 37.47% of its total capacity, while, in April 2024, the level was reduced by 42 m, to 2111.45 meters above sea level, just 1 m from the minimum safety level, while its volume was reduced to only 30.97% of the total capacity.

Palabras clave: GIS, Sentinel 2, NDWI, DEM, ALOSDEM.

Introducción

El agua es un recurso vital para la producción de energías renovables y su monitoreo es importante para un adecuado manejo de los recursos hídricos (Karaman and Özelkan, 2022). En Ecuador, más del 90% de la energía eléctrica consumida proviene de plantas hidroeléctricas que aprovechan el gran potencial hídrico originado en cuencas hidrográficas que en última instancia vierten sus aguas en la cuenca del río Amazonas (Zalamea, 2021). El complejo hidroeléctrico más importante del país lo constituye el ahora llamado Complejo Paute Integral, mismo que posee una capacidad instalada de 1757 MWh (sumando las capacidades instaladas de sus tres centrales hidro-

eléctricas) (Zalamea, 2021; CELEC EP, 2024a Durante la segunda mitad de 2023, mientras se esperaba la llegada del Fenómeno del Niño al territorio ecuatoriano, la estación seca, que por lo general no se suele extender de octubre, se extendió durante el mes de noviembre, hasta inicios del mes de diciembre, y no fue hasta fines de ese mes que finalmente comenzaron las lluvias, aumentando el caudal de los ríos que alimentan a los embalses del complejo (CELEC EP, 2024b). Esto trajo como consecuencia un racionamiento eléctrico que afectó social y económicamente al estado ecuatoriano.

Meses más tarde, las lluvias en la cuenca del río Paute disminuyeron y esto condujo a un nuevo período de estiaje, esta vez más crítico. Esto obligó a los fun-

* Correspondencia del autor:

E-mail: miguel.torresc@ug.edu.ec



Esta obra está bajo una licencia de creative commons: atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0. Los autores mantienen los derechos sobre los artículos y por tanto son libres de compartir, copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra.

Tabla 1 Bandas espectrales de Sentinel-2

Banda	Resolución espacial	Longitud de onda	Descripción
B1	60 m	443 nm	Aerosol
B2	10 m	490 nm	Azul
B3	10 m	560 nm	Verde
B4	10 m	665 nm	Rojo
B5	20 m	705 nm	Infrarrojo cercano (VNIR)
B6	20 m	740 nm	Infrarrojo cercano (VNIR)
B7	20 m	783 nm	Infrarrojo cercano (VNIR)
B8	10 m	842 nm	Infrarrojo cercano (VNIR)
B8A	20 m	865 nm	Infrarrojo cercano (VNIR)
B9	60 m	940 nm	Onda corta infrarroja (SWIR)
B10	60 m	1375 nm	Onda corta infrarroja (SWIR)
B11	20 m	1610 nm	Onda corta infrarroja (SWIR)
B12	20 m	2190 nm	Onda corta infrarroja (SWIR)

cionarios del complejo Paute Integral a suspender la generación eléctrica del complejo, siendo que el momento de mayor criticidad el 17 de abril de 2024, cuando la central hidroeléctrica Mazar dejó de funcionar totalmente (CELEC EP, 2024b).

En la actualidad, gracias a satélites de observación terrestre de libre acceso como Landsat-8 o Sentinel-2, es posible llevar a cabo un monitoreo con una resolución temporal y espacial relativamente alta, siendo este tipo de monitoreo una de las alternativas preferidas por varios autores (Avisse et al., 2017; Asbury and Aly, 2019; Karaman and Özelkan, 2022).

Sin embargo, lo más destacado de estas plataformas es su resolución espectral, lo que propicia la generación de cartografía temática, basada en la firma espectral de cada elemento a cartografiar. Entre dichos elementos se encuentra el agua, por lo que datos de plataformas como Landsat-8 o Sentinel-2 constituyen grandes herramientas para el monitoreo de cuerpos de agua, incluyendo embalses como los del Complejo Paute Integral.



Figura 1. Área de estudio del presente trabajo. En azul oscuro se ve el embalse Mazar en la fotografía Sentinel-2 del 19 de agosto de 2023.

Por lo anterior, en este trabajo se pretende aprovechar las posibilidades que ofrece la plataforma Sentinel-2 para el monitoreo de embalses. Varios autores ya han hecho uso de imágenes Sentinel-2 para este tipo de monitoreo (Karaman and Özelkan, 2022), gracias a las 13 bandas espectrales con diferentes resoluciones que ofrece esta plataforma. (Tabla 1).

Para comprobar la eficacia de imágenes Sentinel-2 en el monitoreo de embalses, se escogió el embalse Mazar (Figura 1) por ser el que mayor capacidad de reserva tiene cuando de generación eléctrica se trata. Se buscó entonces, evaluar los cambios ocurridos en el nivel del embalse, así como de volumen (Karaman and Özelkan, 2022), mediante herramientas de Sistemas de Información Geográfica.

Materiales y Método

El desarrollo de este trabajo se dividió en dos partes: la estimación del área del espejo de agua del embalse mediante el uso de imágenes satelitales de Sentinel-2 (Figura 2) y la estimación del volumen de agua contenido en el embalse mediante modelos digitales de elevación. Ambas partes fueron desarrolladas mediante el software ArcGIS Pro 3.3.

Para la estimación del área del espejo de agua del embalse, se utilizaron seis imágenes de Sentinel-2 adquiridas entre agosto de 2023 y abril de 2024. Estas imágenes fueron escogidas por la diferencia de tiempo entre ellas y especialmente por la poca cobertura de nubes en el área de interés. Las seis imágenes fueron descargadas del sitio web Copernicus Browser (ESA, 2024). Estas imágenes fueron descargadas como productos S2-A, lo que implica que ya cuentan con corrección atmosférica, radiométrica y topográfica, importante para una adecuada clasificación temática.

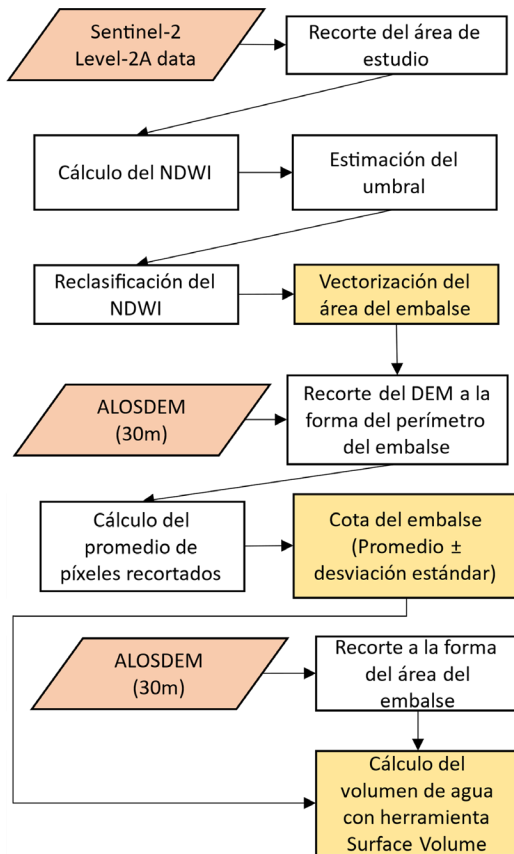


Figura 2. Flujo de trabajo para la estimación del área del embalse.

Para delimitar el área del embalse Mazar, se utilizó el Índice de Agua de Diferencia Normalizada (NDWI por sus siglas en inglés) (McFeeters, 1996). Este índice se basa en el uso de las bandas espectrales del verde (GREEN) y el infrarrojo cercano (NIR), que para Sentinel-2 corresponden a la banda 3 y a la banda 8 respectivamente (Ver Ecuación 1).

$$\text{Ecuación 1 } NDWI = \frac{\text{banda3} - \text{banda8}}{\text{banda3} + \text{banda8}}$$

De este modo, mediante la aplicación del NDWI, se consigue un ráster donde los valores más altos están asociados a la presencia de cuerpos de agua en superficie, incluyendo el espejo de agua del embalse (Karaman and Özelkan, 2022). Tras esto, es necesario establecer un umbral para clasificar cada imagen en dos coberturas: agua y lo que no es agua. Los píxeles que corresponden a agua suelen ser valores positivos, mientras que los píxeles con valores negativos suelen corresponder a otras coberturas, por lo que el umbral se podría establecer en 0. Tras establecer el umbral se hizo una reclasificación de ambas imágenes, asig-

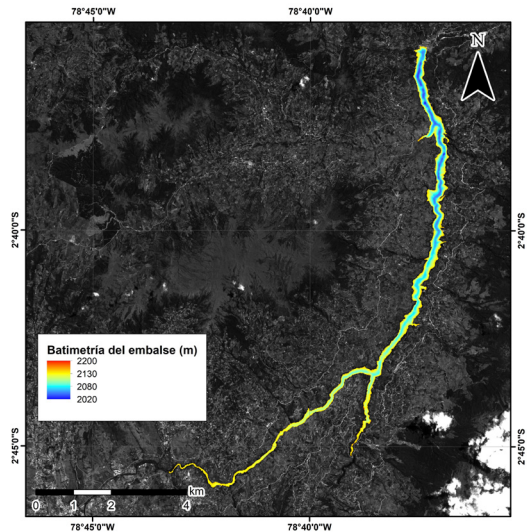


Figura 3. Batimetría del embalse Mazar según DEM extraído de ALOSDEM

nando el valor de 1 a los píxeles que corresponden a agua y *NoData* para los píxeles restantes. A continuación, se procedió a vectorizar las áreas clasificadas como agua.

Ocasionalmente la cobertura de nubes puede arrojar valores positivos que pueden confundirse con agua. Para corregir esto, se le hizo una edición manual a la capa de polígonos, dejando únicamente el polígono correspondiente al embalse (Figura 2). Finalmente se calculó el área del espejo de agua a partir de las capas vectoriales generadas.

Para la estimación del volumen de agua contenida al momento que fueron tomadas las imágenes, se aprovechó el modelo digital de elevaciones (DEM por sus siglas en inglés) de ALOSDEM de resolución 30 m (Tadono et al., 2014). Este modelo está basado en imágenes RADAR adquiridas entre los años 2006 y 2011 (Tadono et al., 2014). Concretamente, las estero-imágenes RADAR usadas para construir el DEM del área de estudio fueron tomadas antes de que terminara la construcción del embalse, por lo que este DEM sirve como modelo batimétrico del fondo del embalse, suponiendo que no ha habido cambios significativos por la sedimentación (Figura 3).

Para la estimación de la cota del espejo de agua del embalse, se calculó el promedio de los píxeles del DEM que se interceptaron con el perímetro del embalse (Figura 2). Esto debido a que, aunque idealmente todos los píxeles del perímetro deberían corresponder a la misma cota, tanto el modelo digital de elevaciones, como la delimitación del embalse por NDWI tienen un margen de error, debido principalmente a la resolución espacial (10 m para las imágenes Sentinel-2 y 30 m para las ALOS DEM), y a que ALOSDEM tiene una precisión vertical de ± 5 m (Tadono et al., 2014).

Resultados y DISCUSIÓN

Para las fechas escogidas, el embalse Mazar alcanzó una cota máxima de 2148.02 m (Tabla 2), cercana a la cota máxima de diseño de 2153 m (CELEC EP, 2024b). Para el 17 de noviembre de 2023 la cota descendió a los 2123,23 m.s.n.m., bajando aún más en los siguientes días de noviembre cuando la crisis se agudizó. Sin embargo, fue para el 15 de abril de 2024 cuando el embalse descendió a su nivel más bajo, llegando a los 2111.49 m.s.n.m. (Figura 4 y Figura 5), uno de los niveles más bajos desde que el embalse entrara en funcionamiento en el 2010 (CELEC EP, 2024b). Como se describe en la Tabla 2, el error absoluto fue relativamente bajo, no siendo mayor a 4 m al compararse los resultados obtenidos en este estudio, con los valores medidos por CELEC. Además, se notó que este error absoluto fue ligeramente mayor cuando el nivel del embalse era igualmente mayor. Por otro lado, la desviación estándar en la estimación del nivel del embalse para cada fecha fue ligeramente mayor cuanto menor era el nivel del embalse. Esto podría estar relacionado con la sedimentación, puesto que se notó una importante discrepancia entre el espejo de agua esperado según el DEM de ALOSDEM y el espejo de agua observado debido a las zonas del fondo del embalse que se han rellenado con sedimentos y que han quedado expuestas de manera histórica en durante las crisis de noviembre de 2023 y de abril de 2024. Particularmente esto quedó más patente en la imagen del 15 de abril de 2024. Otra posible causa de error podría estar relacionada con inconsistencias geométricas por el DEM utilizado al para ortorectificar la imagen, por lo que sería necesario utilizar imágenes en crudo de Sentinel 2 para poder llevar a cabo una ortorectificación con un DEM que se ajuste mejor a topografía actual de la zona de estudio. Aun así, tomando en cuenta lo anterior, es probable que la mayor fuente de error en la estimación se deba a los cambios que ha sufrido la batimetría del embalse por la sedimentación. Por otra parte, merece destacarse el error relativamente bajo, considerando la resolución de las imágenes Sentinel 2 y del DEM de ALOSDEM, siendo que este último tiene un error medio más

alto (Tadono et al., 2014) que el error absoluto más alto obtenido en la estimación de este estudio.

Adicionalmente, como se aprecia en la Figura 4, la precisión en el dibujo del límite del embalse dependerá de la pendiente de su batimetría, por lo que cuando esta sea mayor, dada la resolución espacial de las imágenes Sentinel 2, las líneas del límite del embalse para diferentes niveles tenderán a estar más juntas y entrar en el margen de error debido a la escala de Sentinel 2. Esta pendiente variable en el embalse puede apreciarse mejor en la Figura 5, donde el flanco noroeste tiene mayor pendiente que el flanco este. Por consiguiente, el error podría disminuirse si se discrimina las zonas con pendientes fuertes, eliminándolas del perímetro para la estimación del nivel del embalse.

A partir del DEM, se estimó que el volumen de agua en el embalse al 19 de agosto de 2023 fue de 330,97 hm³, aproximadamente un 84% del volumen total del embalse según Zalamea (2021), mientras que para el 1 de noviembre el volumen estimado fue de 2123,23 hm³, un 37,47% de la capacidad del embalse. Por otro lado, cuando las lluvias en el mes de diciembre finalmente permitieron que el embalse se recuperara, este alcanzó un volumen 279.59 hm³ para el mes de enero de 2024. Aunque este volumen era mucho más saludable para el Complejo Paute Integral, se encontraba lejos de los niveles del mes de agosto, sugiriendo que las lluvias no permitieron una recuperación total de los caudales del embalse. Este hecho pudo acrecentar la crisis que devino después cuando el volumen del embalse se redujo a 211.32 hm³ el 21 de marzo de 2024 y finalmente los 122.03 hm³ el 15 de abril de 2024, probablemente el volumen más bajo que ha almacenado el embalse Mazar desde su entrada en funcionamiento (alrededor del 30,97% de su capacidad total).

Tabla 2 Comparativa de la cota calculada a partir de imágenes Sentinel-2 versus la cota medida por CELEC (2024). También se denota el volumen del embalse para la cota calculada.

Fecha	Cota calculada (m.s.n.m)	Cota CELEC (m.s.n.m)	Error (m)	Volumen calculado (hm ³)
15/4/2024	2111.49	2109.52	1.97	122.03
5/4/2024	2116.12	2116.49	-0.37	142.45
21/3/2024	2129.23	2127.83	1.4	211.32
26/1/2024	2141.32	2143.5	-2.18	279.59
17/11/2023	2123.23	2122.39	0.84	174.59
19/8/2023	2148.02	2151.96	-3.94	330.97

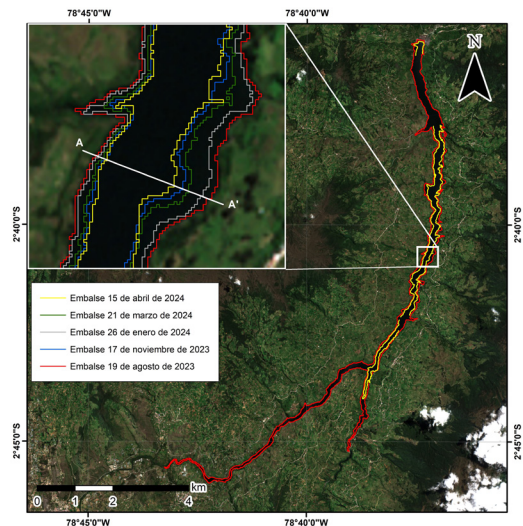


Figura 4 Comparativa del área del embalse entre agosto de 2023 y abril de 2024. Las zonas donde se interrumpe para el 15 de abril de 2024 se deben a la cobertura parcial de nubes.

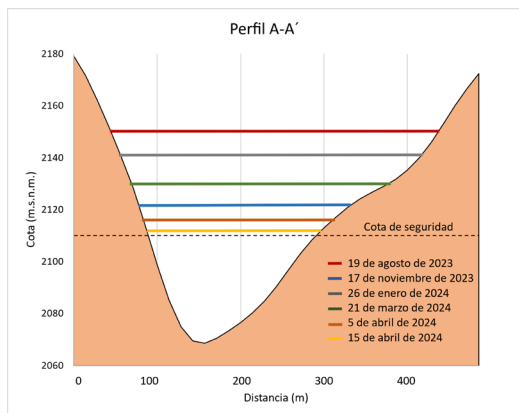


Figura 5 Perfil A-A' del embalse donde se denota el descenso del nivel de este.

A todo esto, hay que acotar que este volumen puede estar sobredimensionado, puesto que no se considera la reducción de la capacidad total del embalse debido a la sedimentación. La cota mínima de seguridad del embalse Mazar, según recoge Zalamea (2021) es de 2110 m.s.n.m., lo que denota la criticidad del nivel del embalse durante los meses de noviembre 2023 y abril de 2024, conduciendo a racionamientos de electricidad en todo el país. Si bien es cierto que es el embalse Amaluza el que alimenta a la central hidroeléctrica Paute, que es la que mayor capacidad instalada tiene, Mazar es el que indirectamente proporciona la mayor cantidad de recurso hídrico para la generación eléctrica (Zalamea, 2021).

La amplia cobertura de nubes sobre el embalse en las fotografías Sentinel-2 en varias de las fechas intermedias impide aplicar esta metodología, para reconstruir la tasa de descenso del nivel del embalse a corto plazo. Sin embargo, el bajo error absoluto obtenido, no mayor a 4 m, sugiere que este análisis combinado entre modelos digitales de elevaciones e imágenes satelitales multiespectrales de resolución media permite monitorear el nivel de embalses artificiales, especialmente si se cuenta con topografía previa al mismo (Karaman and Özelkan, 2022), tal como se evidencia en el presente trabajo. La principal limitante para su aplicación es la cobertura de nubes, que, en regiones tropicales, próximas a la cuenca amazónica, es bastante frecuente y extendida. Una variante podría conllevar el uso de imágenes RADAR como las del satélite Sentinel-1, aunque con una resolución (12 m) y precisión efectiva en la clasificación notablemente más bajas.

Conclusión

El embalse Mazar experimentó un estiaje que llevó a su espejo de agua de la cota 2148,02 m.s.n.m. el 19 de agosto de 2023, a inicios de la estación seca, a los 2122,39 m.s.n.m. el 17 de noviembre de 2023, semanas antes de las primeras lluvias de la siguiente estación lluviosa. De este modo, el embalse quedó a

tan solo 12 m.s.n.m. de su cota de seguridad, habiendo experimentado un descenso de 26 m. El volumen de agua represada se redujo hasta un 37,47% de su capacidad total, motivo por el que en Ecuador se tuvo que recurrir a racionamientos de electricidad, para sostener las reservas del embalse.

Un segundo estiaje condujo a una disminución hasta los 2111,49 m.s.n.m. el 15 de abril de 2024, dejándolo a tan solo 1 m.s.n.m. de la cota de seguridad y reduciendo su volumen hasta un 30,97%, dejando a la central Mazar inoperativa al 17 de abril de 2024, cuando según registros de CELEC, el embalse alcanzó su mínimo histórico de 2106 m.s.n.m. La metodología presentada en este trabajo ha demostrado ser efectiva para la estimación del área del espejo de agua de embalses como Mazar, lo cual se evidencia en el bajo error absoluto de la cota del perímetro del embalse (no mayor a 4 m), en la cual no solo consta el error en la clasificación de la imagen, sino también el error absoluto del DEM (± 5 m) y los efectos de la sedimentación. Las estimaciones de volumen son coherentes con los valores totales y mínimos del embalse, sin embargo, es probable que este volumen esté sobredimensionado, pues no se considera la sedimentación en el embalse que debe haber reducido la capacidad total del mismo con el paso de los años.

Referencias

- Asbury, Z., and Aly, M.H., 2019, A geospatial study of the drought impact on surface water reservoirs: study cases from Texas, USA: *GIScience and Remote Sensing*, doi:10.1080/15481603.2019.1582154.
- Avisse, N., Tilmant, A., François Müller, M., and Zhang, H., 2017, Monitoring small reservoirs' storage with satellite remote sensing in inaccessible areas: *Hydrology and Earth System Sciences*, v. 21, p. 6445-6459, doi:10.5194/hess-21-6445-2017.
- CELEC EP, 2024a, Central Hidroeléctrica Paute Mazar: <https://www.celec.gob.ec/celecurs/informacion-tecnica/central-hidroelectrica-paute-mazar/>.
- CELEC EP, 2024b, Producción Eléctrica CELEC: Gráficas de Producción, <https://generacioncsr.celec.gob.ec/graficasproduccion/> (accessed May 2024).
- ESA, 2024, Copernicus Sentinel 2 Data:, browser.dataspace.copernicus.eu (accessed May 2024).
- Karaman, M., and Özelkan, E., 2022, Comparative assessment of remote sensing-based water dynamic in a dam lake using a combination of Sentinel-2 data and digital elevation model: *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 194, doi:10.1007/s10661-021-09703-w.
- McFeeters, S.K., 1996, The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features: *International Journal of Remote Sensing*, v. 17, p. 1425-1432, doi:10.1080/01431169608948714.
- Tadono, T., Ishida, H., Oda, F., Naito, S., Minakawa, K., and Iwamoto, H., 2014, Precise Global DEM Generation by ALOS PRISM: *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, v. II-4, p. 71-76, doi:10.5194/isprsannals-ii-4-71-2014.
- Zalamea, J., 2021, Medium-Term Hydrothermal Dispatch applied to Paute Integral Hydroelectric Complex Despacho Hidrotérmico de Mediano Plazo aplicado al Complejo Hidroeléctrico Paute Integral: , p. 95-105.

Levantamiento base del medio biótico del manglar La Boca, provincia de Manabí, Ecuador

Base survey of the biotic environment of the La Boca mangrove,
Manabí province, Ecuador

Gabriel Sebastián Vaca Núñez¹ & Xavier Vicente Piguave Preciado²

¹Universidad de Guayaquil, Facultad de CCNN

²Universidad Peninsular de Santa Elena.

Recibido 10 febrero 2024, recibido en forma revisada 10 abril 2024, aceptado 10 de mayo 2024, en línea 30 de junio 2024.

Resumen

Un levantamiento base del medio biótico se llevó a cabo desde agosto del 2011 hasta febrero del 2012, en el manglar La Boca, localizado en el cantón Sucre, provincia de Manabí, costa de Ecuador. El objetivo fue realizar un inventario actualizado de especies de flora y fauna, y determinar la biodiversidad existente en este ecosistema para un futuro aprovechamiento ecoturístico comunitario. Las medias de los parámetros registrados son: pH agua 8,066, pH suelo 7,45, salinidad 33,2 ppt temperatura del agua 26,3°C y temperatura del ambiente 26,5°C. Los 7 meses del proyecto se dividieron en 2 meses de pre-muestreo y 5 de monitoreo; durante este tiempo se reportó un total de 75 especies de fitoplancton, 10 de zooplancton, 17 de plantas superiores, 2 de anélidos, 18 de crustáceos, 1 de equinodermo, 27 de moluscos, 1 platelminto, 27 de peces, 4 de reptiles, 42 de aves y 3 de mamíferos; pertenecientes a 124 familias y 9 PHYLUMs. Con base a porcentajes correspondientes al número de especies por grupo, se determinó un rango de H' de 1,79 y un H' max de 6,02, según el índice de Shannon - Wiener.

Palabras clave: Abundancia, aves, densidad, diversidad, fauna, flora, manglar.

Abstract

A baseline survey of the biotic environment was carried out from August 2011 to February 2012, in the La Boca mangrove, located in the Sucre canton, province of Manabí, coast of Ecuador. The objective was to carry out an updated inventory of flora and fauna species, and determine the existing biodiversity in this ecosystem for future community ecotourism use. The averages of the recorded parameters are: water pH 8.066, soil pH 7.45, salinity 33.2 ppt, water temperature 26.3°C and ambient temperature 26.5°C. The 7 months of the project were divided into 2 months of pre-sampling and 5 months of monitoring; During this time, a total of 75 species of phytoplankton, 10 of zooplankton, 17 of higher plants, 2 of annelids, 18 of crustaceans, 1 of echinoderm, 27 of mollusks, 1 flatworm, 27 of fish, 4 of reptiles, 42 were reported. of birds and 3 of mammals; belonging to 124 families and 9 phyla. Based on percentages corresponding to the number of species per group, a range of H' of 1.79 and a H' max of 6.02 were determined, according to the Shannon - Wiener index.

Key words: Abundance, bird, density, diversity, fauna, flora, mangroves.

Introducción

El uso desequilibrado de los diferentes ecosistemas durante el siglo pasado hasta el presente ha traído consigo una profunda crisis de la biodiversidad, cuyas consecuencias son aún desconocidas. Se ha reportado que especies desaparecen a causa de la fragmentación de sus hábitats, algunos indicios señalan que su impacto sería altamente negativo (ECOLAP y MAE. 2007). Los manglares han sido reconocidos entre los ecosistemas más productivos de la biosfera, entre sus servicios se destaca una alta productividad

de nutrientes que permiten la existencia de gran cantidad de especies de vida acuática, terrestre y aérea. En estos ecosistemas, las raíces sumergidas de los mangles en suelos de origen sedimentario sirven como hábitat y refugio para una gran diversidad de fauna, mientras que el dosel de los mismos proporciona sitios de anidación y alimentación para un número considerable de especies de aves residentes y migratorias (Gonzales D. et al. 2008.).

A nivel paisajístico, los manglares protegen a las costas y a los ecosistemas terrestres de daños asociados a la

* Correspondencia del autor:
E-mail: gabriel.vacan@ug.edu.ec



Esta obra está bajo una licencia de creative commons: atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0. Los autores mantienen los derechos sobre los artículos y por tanto son libres de compartir, copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra.

erosión y fenómenos naturales oceánicos. Son también ecosistemas de alto valor socioeconómico, actúan como criaderos naturales para docenas de especies de peces y mariscos de importancia comercial, desempeñan un papel fundamental en las pesquerías litorales, dado que gran cantidad de las especies que crecen en el manglar, en su fase adulta viven en ecosistemas cercanos, como las praderas de pastos marinos y arrecifes de coral. Se estima que por cada ha. de manglar destruido existe, aproximadamente, una pérdida anual en la pesca comercial de 800.000 kg de peces y crustáceo. Aunado a esto, el manglar suministra materias primas como madera y taninos, estos últimos empleados en curtimbres y tintorería (Bodero A. 2005).

En términos económicos y ecológicos, la ONU calcula que el valor económico de los servicios ambientales prestados por una ha de manglar en condiciones ambientales apropiadas sería de 250.000 dólares (Comisión Federal de Electricidad, 2011). Su productividad primaria bruta alcanza niveles de hasta 14 g de carbono por m² y de 7 a 15 tm/ha de hojarasca anualmente (Navarrete, 2002).

En 1.997, la cobertura mundial de ecosistemas de manglar fue estimada en 181.000 km², análisis más recientes indican que esta cifra podría estar ahora por debajo de los 150.000 km². La contaminación, incluyendo las emisiones agrícolas, industriales, los plásticos, las aguas negras y los vertidos accidentales de petróleo, principalmente se produce por agroquímicos como insecticidas y fungicidas, que drenan por las quebradas y ríos que desembocan al manglar. También hay aporte de metales pesados producto de la minería en el continente que llegan al manglar por los ríos y quebradas que desembocan en él (Toral F. 1997).

En Ecuador, según monitoreos de la vegetación manglar realizados por CLIRSEN, INEFAN y otros autores, sus existencias en tamaño han sido las siguientes: Entre 1.969 y 2.001 las pérdidas del manglar en la provincia de Esmeraldas han sido del 15%, en la provincia de Manabí el 70% y en la provincia del Guayas el 13% (Bodero, 2005). Para el año 2005, el Mapa Forestal del Ecuador Continental elaborado por CLIRSEN, da cuenta de la existencia de 108.000 ha. sobrevivientes de bosque de manglar en el Ecuador. Comparada esta extensión con la original, se evidencia una pérdida del 70% del ecosistema de manglar (Organización RED MANGLAR, 2011).

La biota del manglar presente en la costa ecuatoriana está representada por 5 familias, 6 géneros y 7 especies de árboles, 45 especies de aves, 15 de reptiles, 17 de crustáceos, 70 de moluscos, alrededor de 100 especies de peces, y más de 17 de epifitas entre orquídeas y bromelias (Bodero, 2005). El manglar La Boca se encuentra dentro de la zona de vida de monte espinoso tropical, alberga una diversidad faunística liderada por Aves con un total de 46 especies, además de 12 especies de herpetofauna, 9 de peces, 3 de

mamíferos, 12 de macroinvertebrados y 4 géneros representativos de flora con una DAP (diámetro a nivel del pecho) de 0,47 m, en un área total de 50,75 ha. (Toral, 1997).

Debido a la integración de diversos pueblos ancestrales montubios que conforman el Área Protegida Comunitaria del Ecosistema Manglar del Estuario del Río Portoviejo, su zona de transición y amortiguamiento, se priorizó un levantamiento base del medio biótico en el manglar La Boca, para un plan de manejo orientado a la conservación. Por la falta de conocimiento del valor ecológico que representa, este entorno ha sido afectado por varios factores antropogénicos, como la contaminación por desechos químicos inorgánicos, y la deforestación para desarrollar actividades económicas de producción (Toral F. 1997; Navarrete F. et al. 2002).

Metodología

El Manglar La Boca está ubicado en la zona de San Jacinto - Las Gilces, cantón Sucre, en la Provincia de Manabí. Sus coordenadas geográficas son 0° 47' S y 80° 31' O (Gobierno Provincial de MANABÍ, 2011). La temperatura media anual oscila entre los 24°C a 26°C, posee una precipitación media anual entre 250 y 500 mm. Las estaciones climáticas en la región son marcadas, el periodo lluvioso empieza en diciembre hasta finales de abril y el periodo seco desde mayo hasta noviembre (Gráfico 1; Toral, 1997).

En lo que respecta a plancton, desde Octubre hasta Febrero se realizaron 5 arrastres horizontales con red de 60 µ [45 cm de diámetro por 120 cm de largo], en una embarcación a motor a una velocidad aproximada de 4 nudos durante 10 minutos; recolectando 5 muestras de 500 ml. La fijación se la efectuó mediante formol y bórax al 4%. La identificación se la hizo con estereoscopios y microscopios Olympus (Arcos et al., 1989).

Para la determinación flora se realizaron 5 transectos de 50 m de largo usando los senderos existentes en la zona, donde se empleó la técnica de fotoregistro de

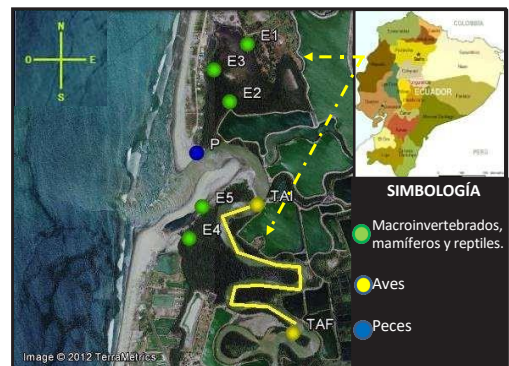


Gráfico 1. Mapa del manglar La Boca: estaciones de monitoreo.

Tabla 1. Parámetros físicos monitoreados en La Boca, Manabí, Ecuador.

	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Media
pH agua	8,3	8,5	8,0	8,0	7,5	8,1
pH suelo	8,3	7,0	7,0	7,0	8,0	7,4
Salinidad	30,0	35,0	35,0	32,0	34,0	33,2
Temperatura del agua	26,0	25,0	26,0	26,0	28,5	26,3
Temperatura ambiental	27,0	28,5	25,0	28,0	24,0	26,5

especímenes con cámaras digitales Canon y Sony de 10 y 15 megapíxeles (Cerón et al., 1993).

En macroinvertebrados, se planteó 5 cuadrantes (100 m de longitud por 2 m de ancho) distribuidos a lo largo de senderos del bosque manglar, mediante la técnica en barrido dentro de las respectivas áreas, colectando en frascos plásticos los organismos (2 muestras por especie). Posteriormente, se reportó el número de organismos por mes, narcotizándolos con esencia de clavo de olor y/o agua dulce y conservándolos en alcohol al 75% (NAGISA, 2004).

La herpetofauna tuvo lugar mediante 5 transectos lineales de 100 m de longitud, registrando y fotografiando los organismos mediante la técnica de encuentro visual, con cámaras digitales Canon y Sony de 10 y 15 megapíxeles, respectivamente. Los horarios de monitoreo fueron diurnos, crepusculares, y nocturnos (Cárdenas et al., 2006).

Para la determinación de peces se usó como arte de pesca la atarraya a lo largo del estuario, concentrando el esfuerzo de monitoreo en las zonas más concurridas por la comunidad pesquera. Al igual que los macroinvertebrados, todos los peces (2 muestras por especie) se colectaron en frascos plásticos, fijándolos con formol al 50% durante dos días, y preservándolos en alcohol al 75% (Amador, 2010).

Las aves fueron monitoreadas a partir de un transecto lineal (1800 m), 10 metros a cada lado, con perspectiva de visualización de 360°, desde una embarcación a motor mediante observación de registro fotográfico

y conteo con la ayuda de binoculares (Minolta 10 x 25 WP), cámaras digitales Canon y Sony de 10 y 15 megapíxeles y contadores. Los horarios de monitoreo fueron al amanecer (530 - 800 HH mm) y al atardecer (1600 - 1830 HH mm) (Tasker et al., 1983).

Los mamíferos voladores fueron registrados con el uso de redes de niebla de 6 m de longitud por 2,5 m de alto, colocándolas en horarios nocturnos (1800 - 0000 HH mm), además de monitorear los principales refugios de estos animales (casas abandonadas, troncos huecos, cuevas) (Simmons & Voss, 1998), colectando una muestra por cada organismo encontrado en la investigación.

Mientras que los mamíferos terrestres se observaron por métodos directos, mediante trampas instantáneas o pitfall (baldes colocados de manera sistemática con carnada) dispuestas en un período de 24 horas por cada mes de monitoreo e indirectos (hallazgo de organismos por muerte natural) (Tirira, 1998),

Resultados

Durante los 7 meses del proyecto se reportó un total de 75 especies de fitoplancton (Tabla 2); 10 de zooplancton (Tabla 3); 17 especies de plantas superiores (Tabla 4); 2 de anélidos, 18 de crustáceos, 1 de equinodermos, 27 de moluscos, 1 platelminto, 27 de peces, 4 de reptiles, 42 de aves y 3 de mamíferos, pertenecientes a 124 familias y 9 PHYLUMs (Tabla 5; Gráfico 2). Con base a porcentajes correspondientes al número de especies por grupo, se determinó un rango de H' de 1,79 y un H' max de 6,02, según el índice de Shannon - Wiener.

Las medias de los parámetros a consideración fueron: pH agua (8,066), pH suelo (7,45), salinidad (33,2), temperatura del agua (26,3°C) y temperatura del ambiente (26,5°C) (Tabla 1).

Discusión

En los estudios de Guías del Patrimonio de Áreas Naturales Protegidas del Ecuador (Ecolap y MAE 2007), en La Reserva Ecológica Manglares-Churute sobresale el número de avifauna (300 spp.), compuesto principalmente por aves marino-costeras y relacionadas con ambientes acuáticos de la familia

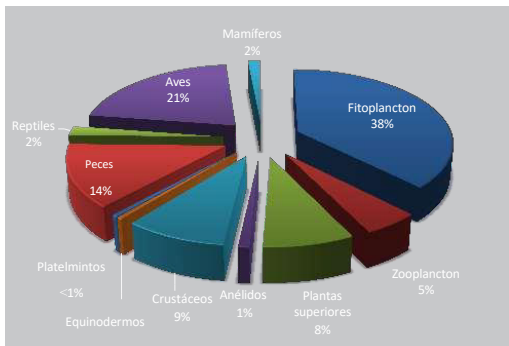


Gráfico 2. Grupos de flora y fauna expresados en porcentajes, registrados en La Boca, Manabí, Ecuador.

Ardeidae y Anhimidae; y mastofauna (48 spp.) representada por primates y roedores, con un total de 348 especies en forma general; en comparación con los resultados obtenidos en la presente investigación, proyectando apenas un 13% aproximadamente, frente al total de la diversidad de la Reserva Ecológica Manglares - Churute, reportándose un número de 42 spp. de aves y 3 spp. de mamíferos (Tabla 5), haciendo un acumulado de 45 especies reportadas en esta investigación; relacionando la gran intervención antropogénica que ha tenido La Boca y la falta de conservación y desarrollo sostenible, ha llegado a tener una décima parte en bosques de manglar y diversidad, respecto a otras reservas que se encuentran bajo un amparo legal del Ministerio de Ambiente, Agua y Transición Ecológica.

La Reserva de Producción de Fauna Manglares el Salado con un área de 3.700 hectáreas contiene un total de 79 especies de aves (Ecolap y MAE 2007), en comparación con las 42 especies registradas en nuestra investigación en un área de 50 hectáreas (Tabla 5), resaltando el valor ecológico de la zona de estudio a pesar de su corta extensión en relación a ecosistemas similares. En los humedales de la Reserva Ecológica Manglares Cayapas-Mataje (REMACAM), se determinó una producción primaria compuesta por 66 especies de organismos zooplanctónicos (Ecolap y MAE 2007), difiriendo con los resultados planctónicos reportados en el Levantamiento Base del Medio Biótico del Manglar La Boca, donde se reporta un total de 73 especies fitoplanctónicas (Tabla 2) que establecen la producción primaria, y 10 especies zooplanctónicas (Tabla 3), que conforman la producción secundaria.

En ninguno de los antecedentes de estudios similares se ha reportado tortugas u otro tipo de reptil marino, difiriendo con parte de los resultados aquí presentados, que registró un individuo neonato de *Chelonia mydas* (Tabla 5).

En los estudios de la Reserva Ecológica Manglares-Churute, la Reserva de Producción de Fauna Manglares el Salado, los humedales de la Reserva Ecológica Manglares Cayapas-Mataje, el Refugio de Vida Silvestre Isla Corazón y Fragatas, y los Manglares del Estuario del Río Muisne (Según Ecolap y MAE 2007), se reportó la presencia de moluscos como *Anadara* y *Mytella*, cuyas especies poseen valor comercial, difiriendo con los resultados de bivalvos (Tabla 5) de este estudio, presumiblemente debido a la carga antropogénica y sobre aprovechamiento de los recursos. En un estudio previo realizado en el manglar La Boca se registró un total de 86 especies (Toral, 1997), en el presente trabajo se reportan 227 especies, pertenecientes a 124 familias y 9 PHYLUMs (Tabla 5).

Conclusiones

- Se estableció un total de 227 especies registradas

dentro de 9 PHYLUMs y con base a porcentajes correspondientes al número de especies por grupo.

- Se determinó un índice de Shannon - Wiener de $H' = 1,79$ bits, que establece un rango de diversidad media poco resistente a cambios ambientales, medianamente equilibrado.
- Los parámetros ambientales registrados (pH del agua, pH del suelo, T° del agua, T° ambiente y salinidad) se encuentran dentro de los límites de ecosistemas de transición (estuarios).
- Esta investigación sirvió como base técnica para capacitar a representantes de las comunidades ancestrales responsables del "Manglar La Boca", de la diversidad del ecosistema manglar y el aprovechamiento sostenible a través de un ecoturismo responsable.

Agradecimientos

Un agradecimiento especial a:

1. La Pontificia Universidad Católica del Ecuador - Sede Manabí/Campus Bahía de Caráquez, por los proyectos de vinculación con la comunidad, así como por la prestación de los laboratorios para la identificación de especies.
2. La Fundación para la Investigación y Desarrollo Social - FIDES, por el apoyo económico para dar lugar a éste proyecto socio - ecológico.
3. Los comuneros de San Jacinto, Santa Teresa, Las Gilces y San Roque por el apoyo en la logística del desarrollo de este proyecto.
4. A los estudiantes de la carrera de Biología Marina de la PUCEM - Bahía de Caráquez del año 2011, que participaron en esta investigación.

Bibliografía

- Agúz C. et al. 2006. Guía de campo Identificación de los Manglares en México. Universidad Autónoma de Campeche. México.
- Amador. 2010. Técnicas de monitoreos para vertebrados. Universidad de Guayaquil. Ecuador.
- Amaral A. Cecilia Z. 2005. Manual de Identificación de invertebrados marinos de la región Sur este de Brasil. Volumen I. Editora de la Universidad de Sao Pablo. Brasil.
- Arcos F. et al. 1989. Variación temporal del zooplancton de una estación fija en Bahía Academia (Galápagos) período 1986-1988. Acta Oceanográfica del Pacífico INOCAR. Ecuador.
- Bodero A. 2005. Concepto Del Manglar, Áreas A Nivel Global Y En Ecuador, Modificaciones Ocurridas Durante LasÚltimas Tres Décadas. Grupo MAJAGUAL. Ecuador.
- Cárdenas A. et. al. 2006. Diseño metodológico para la evaluación de la biodiversidad de microcuencas hidrográficas de los ríos de Illangama y Alumbre de la provincia de Bolívar. ECOCIENCIA-USAID-SANREM CRSP.
- Clara M. 2008. Clase Aves. Curso de Biología Animal. Sección Zoología de Vertebrados. Facultad de Ciencias. Universidad de la República. Montevideo. Uruguay.
- ECOLAP y MAE. 2007. Guía del Patrimonio de Áreas Naturales Protegidas del Ecuador. ECOFUND, FAN, DarwinNet, IGM. Quito, Ecuador.
- Fisher W. et al. 1995. Guía FAO para la identificación de especies para los fines de la pesca. Volumen I. Plantas e Invertebradas. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma. Italia.

- Gonzales D. et al. 2008.** Los elementos potencialmente tóxicos en las plantas de manglar: una revisión de los mecanismos de tolerancia involucrados. Volumen 33 N° 11. Interciencia.
- Hickman C. & T. Zimmerman. 2000.** Guía de campo de los crustáceos de Galápagos. Washington and Lee University. Los Angeles County Museum of Natural History. Virginia. EE.UU.
- Kong I. & H. Castro. 2002.** Guía de Biodiversidad N° 3 - Vol I Macrofauna y algas marinas. Centro Regional de Estudios y Educación Ambiental. Facultad de Recursos del Mar. Universidad de Antofagasta. II Region de Antofagasta. Chile.
- Lips K. et al. 1999.** El monitoreo de anfibios en América Latina. The Nature Conservancy.
- Moreno P. & D. Infante. 2009.** Manglares y Selvas Inundables. Instituto de Ecología A.C. CONAFOR Y OIMT. Xalapa, Ver. México.
- Ministerio del Ambiente del Ecuador. 2007.** Plan de Manejo Participativo Comunitario Refugio de Vida Silvestre Islas Corazón y Fragatas. Portoviejo, Ecuador **Ministerio del Ambiente del Ecuador. 2010.** Plan de Manejo del Refugio de Vida Silvestre Manglares El Morro. Fundación Ecuatoriana para el Estudio de Mamíferos Marinos (FEMM), Fundación Natura y Conservación Internacional Ecuador. General Villamil, Ecuador.
- NAGISA. 2004.** An introduction to NAGISA sampling protocol. Kyoto University, Seto Marine Biological Laboratory & Alaska University, Fairbanks.
- Navarrete F. et al. 2002.** Estudio De Alternativas De Manejo Del Estuario De Manglares Del Río Muisne Entre El Sistema Bunche-Cojimies. FUNDECOL. Ecuador.
- Secretaría de Marina Armada de México, IV Sector Naval Militar de Chetumal, 2003. 40 p. il.
- Sornoza F. 2009.** Inventario Ornitológico y Diseño de Rutas de Aviturismo en la Provincia de Manabí. Dirección Provincial de Turismo de Manabí. Ecuador.
- Szteren D., D. Hernández. 2008.** Clase Mammalia. Curso de Biología Animal. Sección Zoología de Vertebrados. Facultad de Ciencias. Universidad de la República. Montevideo. Uruguay
- Tasker M. et al. 1983.** Counting seabirds at sea from ships: a review of methods employed and a suggestion for a standardized approach. Nature Conservancy Council. Scotland.
- Tirira, D. G. 2011.** Lista actualizada de especies de mamíferos en el Ecuador / *Updated species check list of Mammals in Ecuador*. Versión 2011.2. Fundación Mamíferos y Conservación & Editorial Murciélagos Blanco. Quito. <www.mamiferosdeecuador.com> (actualización / updated agosto de 2011)
- Toral F. 1997.** Diagnóstico Ambiental Desembocadura del río Portoviejo - La Boca. Ecuador.
- Valencia J.H. et al. 2008.** Guía de campo de reptiles del Ecuador. Fundación Herpetológica Gustavo Orcés, Simbioe. Quito. 236 pp.
- Villalba J.** Los manglares en el mundo y en Colombia. Sociedad Geográfica de Colombia. Academia de Ciencias Geográficas. Colombia. (05/05/2012).
- Websites:**
www.biogeodb.stri.si.edu, 05/052012
www.biologia.laguia2000.com/biologia/caracteristicas-de-los-anfibios, 6/5/2012
www.cfe.gob.mx/sustentabilidad/responsabilidadambiental/Documents/Reforestacionymonitoreoenmanglares.pdf, 15/09/2011.
www.codeso.com/turismoecuador/peces-ecuador.html, 13/05/2012
www.ecured.cu/index.php/Clasificaci%C3%B3n_de_los_peces, 6/5/2012
www.elcastellano.org/glosario_ambiental.pdf, 20/09/2011.
www.fcnym.unlp.edu.ar/catedras/ecocomunidades/TPN3.pdf, 29/09/2011.
www.florabase.dec.wa.gov.au, 05/052012.
www.forevergreen.org/D90D/pdf/Ciencia_e_Investigacion_Fitoplancton_Marino.pdf, 05/06/2012.
www.fapd.net/descargas10/escuelas/curso/carcteristicas_peces.pdf, 06/05/2012.
www.gce-lter.marcsi.uga.edu, 2012.
www.habitas.org.uk, 2012
www.hear.org, 05/05/2012.
www.itescam.edumx/principal/sylabus/fpdb/recursos/r37351.pdf, 29/04/2012.
www.lapshin.org, 05/05/2012.
www.manabi.gob.ec/datos-manabi, 05/06/2012.
www.pics.davesgarden.com, 05/052012.
www.plantsystematics.org, 05/052012.
www.redmanglar.org/redmanglar.php?c=160; 15/09/2011
www.sites.duke.edu, 05/05/2012.
www.stri.si.edu, 05/05/2012.
www.ucm.es/info/tropico/docencia/Textos/E1%20MOLUSCOS.pdf, 06/05/2012
www.uidaho.edu, 29/04/2012.
www.zoologia.puce.ec/vertebrados/anfibios/anfibiosecuador/diversidadendemismo.aspx, 13/05/2012

Tabla 2. Especies de fitoplancton presentes en La Boca, Manabí, Ecuador.

PROTOCTISTA	ACTINOCHRYSPHYCEAE	DICTYOCHEACEAE	<i>Dictyocha fibula</i>
			<i>Nitzschia longissima</i>
		BACILLARIACEAE	<i>Nitzschia obtusa</i>
			<i>Nitzschia sigma</i>
			<i>Nitzschia sp.</i>
		BELLEROCHEACEAE	<i>Bellerochea sp.</i>
	BACILLARIOPHYCEAE		<i>Biddulphia dubia</i>
		BIDDULPHIACEAE	<i>Biddulphia heteroceros</i>
			<i>Biddulphia sinensis</i>
			<i>Biddulphia sp.</i>
			<i>Bacteriastrum elegans</i>
			<i>Bacteriastrum hyalinum</i>
			<i>Bacteriastrum sp.</i>
			<i>Chaetoceros affinis</i>
			<i>Chaetoceros boreale</i>
		CHAETOCERACEAE	<i>Chaetoceros didymus</i>
			<i>Chaetoceros radicans</i>
			<i>Chaetoceros subsecundus</i>
			<i>Chaetoceros sp.</i>
		BACILLARIOPHYCEAE	CORETHRACEAE
			<i>Coscinodiscus nitidus</i>
			<i>Coscinodiscus sp.</i>
		COSCINODISCACEAE	<i>Coscinodiscus excentricus</i>
			<i>Coscinodiscus nitidus</i>
			<i>Coscinodiscus radiatus</i>
		COSCINODISCACEAE	<i>Coscinodiscus stellaris</i>

		<i>Entomoneis cosla</i>
	ENTOMONEIDACEAE	<i>Entomoneis sp.</i>
		<i>Amphiprora sp.</i>
	FRAGILARIACEAE	<i>Fragilaria sp.</i>
	HELIOPELTACEAE	<i>Actinoptychus sp.</i>
		<i>Climacodium</i>
		<i>frauenfeldianum</i>
	HEMIAULACEAE	<i>Climacodium sp.</i>
		<i>Eucampia sp.</i>
	LEPTOCYLINDRACEAE	<i>Leptocylindrus sp.</i>
	LICMOPHORACEAE	<i>Licmophora sp.</i>
		<i>Lithodesmium undulatum</i>
	LITHODESMIACEAE	<i>Ditylum brightwellii</i>
		<i>Melosira nummuloides</i>
PROTOCTISTA	BACILLARIOPHYCEAE	<i>Melosira sp.</i>
	MELOSIRACEAE	<i>Melosira vacia</i>
		<i>Melosira sulcata</i>
	NAVICULACEAE	<i>Navicula sp.</i>
		<i>Gyrosigma sp.</i>
		<i>Pleurosigma angulatum</i>
	PLEUROSIGMATACEAE	<i>Pleurosigma directum</i>
		<i>Pleurosigma sp.</i>
		<i>Guinardia sp.</i>
		<i>Guinardia striata</i>
		<i>Pseudosolenia sp.</i>
		<i>Rhizosolenia alata</i>
	RHIZOLENIACEAE	<i>Rhizosolenia fragilisima</i>
		<i>Rhizosolenia hialina</i>

					<i>Rhizosolenia minima</i>
		RHIZOLENIACEAE			<i>Rhizosolenia setigera</i>
					<i>Rhizosolenia sp.</i>
		SKELETONEMATACEAE			<i>Detonula sp.</i>
		STEPHANOPYXIDACEAE			<i>Stephanopyxis palmeriana</i>
	BACILLARIOPHYCEAE				<i>Stephanopyxis sp.</i>
		SURIRELLACEAE			<i>Surirella sp.</i>
					<i>Surirella gemma</i>
		THALASSIOSIRACEAE			<i>Thalassiosira sp.</i>
	PROTOCTISTA	THALASSIONEMATACEAE			<i>Thalassiothrix nitzschioides</i>
					<i>Thalassiothrix sp.</i>
		TRICERATIACEAE			<i>Odontella sp.</i>
	CLOROPHYTA	ULOTRICHACEAE			<i>Ulothrix sp.</i>
					<i>Ceratium furca</i>
					<i>Ceratium fusus</i>
		CERATIACEAE			<i>Ceratium trichoceros</i>
					<i>Ceratium tripos</i>
	DINOPHYCEAE	GONYAULACEAE			<i>Gonyaulax sp.</i>
		PERIDINIACEAE			<i>Protoperidinium sp.</i>

Tabla 3. Especies de zooplancton presentes en La Boca, Manabí, Ecuador.

PHYLUM	SUBPHYLUM	CLASE	SUBCLASE	ORDEN	INFRAORDEN
ARTHROPODA	CRUSTACEA	MALACOSTRACA	EUMALACOSTRACA	DECAPODA	BRACHYURA
ARTHROPODA	CRUSTACEA	BRANCHIOPODA	Indet.		
CNIDARIA	Indet.	Indet.			
ARTHROPODA	CRUSTACEA	MAXILLOPODA	THECOSTRACA		
ARTHROPODA	CRUSTACEA	MAXILLOPODA	COPEPODA	Indet.	
EQUINODERMATA	ECHINOZOA	ECHINOIDEA	Indet		
FORAMINIFERA	Indet.	Indet.			
MOLLUSCA	CONCHIFERA	GASTEROPODA	ORTHOGASTROPODA	OPISTHOBRANCHIA	Indet.
ARTHROPODA	CRUSTACEA	OSTRACODA	Indet.		
ARTHROPODA	CRUSTACEA	MAXILLOPODA	THECOSTRACA	Indet.	

Tabla 4. Flora registrada en La Boca, Manabí, Ecuador.

PLANTAE	LILIOPSIDA	POACEAE	<i>Sporobolus pungens</i>	Hierba mala
		AIZOACEAE	<i>Sesuvium portulacastrum</i>	Verdolaga
		APOCYNACEAE	<i>Vallesia glabra</i>	Perrilla
		BATAACEAE	<i>Batis maritima</i>	Vidrillo
		CACTACEAE	<i>Monvillea sp.</i>	Cactus
		CELASTRACEAE	<i>Maytenus octogona</i>	Arrayancillo
	MAGNOLIOPSIDA	COMBRETACEAE	<i>Laguncularia racemosa</i>	Mangle blanco
			<i>Conocarpus erectus</i>	Mangle botón
		CONVOLVULACEAE	<i>Ipomoea pes-caprae</i>	Batatilla de playa
		MIMOSACEAE	<i>Pithecellobium sp.</i>	Jíbaro
			<i>Prosopis sp.</i>	Algarrobo
		MELIACEAE	<i>Azadirachta indica</i>	Neem
		PHYLLANTHACEA	<i>Phyllanthus acidus</i>	Grosella
		PORTULACACEAE	<i>Portulaca oleracea</i>	Verdolaga
		RHIZOPHORACEAE	<i>Rhizophora mangle</i>	Mangle rojo
		SOLANACEAE	<i>Lycium sp.</i>	Planta espinosa
VERBENACEAE	<i>Avicennia germinans</i>	Mangle negro		

Tabla 5. Fauna registrada en La Boca, Manabí, Ecuador.

REINO	PHYLUM	CLASE	ORDEN	FAMILIA	NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE VULGAR			
ANIMALIA	ANNELIDA	CLITELLATA	Indet.	Indet.	Indet.				
		POLYCHAETA							
	ARTHROPODA	MALACOSTRACA	DECAPODA	DECAPODA	DIOGENIDAE	<i>Clibanarius panamensis</i>			
					GRAPSIDAE	<i>Aratus pisonii</i>			
						<i>Goniopsis pulchra</i>			
						<i>Pachigrapsus transversus</i>			
						<i>Sesarma sp.</i>			
					OCYPODIDAE	<i>Uca maracoani</i>			
						<i>Uca sp.</i>			
					PALAEONIDAE	<i>Alpheus sp.</i>			
					PENAEIDAE	<i>Litopenaeus vannamei</i>			
					PORTUNIDAE	PORCELLANIDAE	<i>Petrolistes sp.</i>		
						PORTUNIDAE	<i>Arenaeus mexicanus</i>		
							<i>Callinectes toxotes</i>		
	XANTHIDAE	ISOPODA	Indet.	Indet.	<i>Euritium limosum</i>				
					<i>Panopeus sp.</i>				
					<i>Eurypanopeus planus</i>				
	CHORDATA	AVIIS	CHARADRIIFORMES	CHARADRIIFORMES	MAXILLOPODA	SESSILIA	BALANIDAE	<i>Balanus sp.</i>	
					ANSERIFORMES	ANATIDAE	<i>Dendrocygma sp.</i>	Pato maría	
					CHARADRIIDAE	<i>Charadrius sp.</i>	Chorlito		
LARIDAE					<i>Larus sp.</i>	Gaviota			
RECURVIROSTRIDAE					<i>Himantopus mexicanus</i>	Gigueñela			

			<i>Actitis macularia</i>	Andarios coleador	
		SCOLOPACIDAE	<i>Calidris sp.</i>	Correlimos	
			<i>Numenius phaeopus</i>	Zarapito trinador	
			<i>Phalaropus sp.</i>	Falaropos	
			<i>Tringa sp.</i>	Playero patiamarillo	
			<i>Ardea alba</i>	Garza	
			<i>Ardea cocoi</i>	Garza cocoi	
ANIMALIA	CHORDATA	AVIIS	<i>Bubulcus ibis</i>	Garza bueyera	
		CICONIIFORMES	ARDEIDAE	<i>Butorides striatus</i>	Martinete
			<i>Egretta caerulea</i>	Garza azul	
			<i>Egretta thula</i>	Garceta	
			<i>Egretta tricolor</i>	Garza tricolor	
			<i>Nycticorax nycticorax</i>	Garza nocturna coroninegra	
			<i>Nyctanassa violacea</i>	Garza nocturna cangrejera	
		CORACIIFORMES	ALCEDINIDAE	<i>Chloroceryle americana</i>	Martin pescador verde
			<i>Megaceryle torquata</i>	Martin pescador grande	
			MOMOTIDAE	<i>Momotus momota</i>	Relojero
		CUCULIFORMES	CUCULIDAE	<i>Crotophaga major</i>	Garrapatero
			<i>Crotophaga sulcirostris</i>	Garrapatero	
		FALCONIFORMES	ACCIPITRIDAE	<i>Buteogallus sp.</i>	Gavilán de mangle
			CATHARTIDAE	<i>Cathartes aura</i>	Gallinazo cabeza roja
			<i>Coragyps atratus</i>	Gallinazo cabeza negra	
			FURNARIIDAE	<i>Furnarius cinnamomeus</i>	Hornero
		PASSERIFORMES	ICTERIDAE	<i>Cacicus cela</i>	Cacique
			<i>Dives warszewiczi</i>	Negro fino	
			<i>Quiscalus mexicanus</i>	Cuervo fino	

			MIMIDAE	<i>Mimus longicaudatus</i>	Cucube
				<i>Fluvicola nengeta</i>	Tirano de agua enmascarado
			TYRANNIDAE	<i>Tyrannus melancholicus</i>	Tirano tropical
			THRAUPIDAE	<i>Thraupis episcopus</i>	Azulejo
			FREGATIDAE	<i>Fregata magnificens</i>	Fragata
			PELECANIDAE	<i>Pelecanus occidentalis</i>	Pelicano pardo
			PHALACROCORACIDAE	<i>Phalacrocorax brasilianus</i>	Cormorán
		PELECANIFORMES		<i>Eudocimus albus</i>	Ibis blanco
			THRESKIORNITIDAE	<i>Plegadis falcinellus</i>	Ibis morito
		PSITTACIFORMES	PSITTACIDAE	<i>Forpus coelestis</i>	Periquito del Pacífico
		STRIGIFORMES	STRIGIDAE	<i>Glaucidium sp.</i>	Mochuelo del Pacífico
		DIDELPHIMORPHIA	DIDELPHIDAE	<i>Marmosa robinsoni</i>	Zariguella
		CHIROPTERA	EMBALLONURIDAE	<i>Rhynchonycteris naso</i>	Murciélago narigudo
		CHIROPTERA	PHYLLOSTOMIDAE	<i>Artibeus sp.</i>	Murciélago frutero
			IGUANIDAE	<i>Iguana iguana</i>	Iguana
		SQUAMATA	TEIIDAE	<i>Dricodon sp.</i>	Lagartija
			TROPIDURIDAE	<i>Microlopus sp.</i>	Lagarto menor
		TESTUDINATA	CHELONIIDAE	<i>Chelonia mydas</i>	Tortuga verde
		ATHERINIFORMES	ATHERINIDAE	<i>Membras gilberti</i>	Pejerrey
		BATRACHOIDIFORMES	BATRACHOIDIDAE	<i>Daector dowi</i>	Bruja sapo
		BELONIFORMES	HEMIRAMPHIDAE	<i>Hyporamphus sp.</i>	Agujeta blanca
			ENGRAULIDAE	<i>Anchoa nasus</i>	Anchoa trompuda
		CLUPEIFORMES		<i>Anchoa sp.</i>	Anchoa
			PRISTIGASTERIDAE	<i>spp.</i>	Sardineta
		ELOPIFORMES	ELOPIDAE	<i>Elops affinis</i>	Diabla
		MUGILIFORMES	MUGILIDAE	<i>Mugil cephalus</i>	Lisa
		OPHIDIIFORMES	OPHIDIIDAE	<i>Ophidion galeoides</i>	Culona chica

				<i>Caranx vinctus</i>	Jurel rayado
			CARANGIDAE	<i>Oligoplites saurus</i>	Raspabalsa
				<i>Selene brevoorti</i>	Carita jorobada
			CENTROPOMIDAE	<i>Centropomus armatus</i>	Róbalo
			GERREIDAE	<i>Eucinostomus gracilis</i>	Mojarra
		PERCIFORMES	GOBIIDAE	<i>Bollmannia sp.</i>	Gobio
			HAEMULIDAE	<i>Haemulopsis leuciscus</i>	Ronco ruco
			SCIAENIDAE	<i>Stellifer fuerthii</i>	Corvinilla blanca
				<i>Stellifer melanocheir</i>	Corvinilla negra
			ACHIRIDAE	<i>Achirus scutum</i>	Guardaboya pintada
				<i>Trinectes fluviatilis</i>	Guardaboya
		PLEURONECTIFORMES	PARALICHTHYIDAE	<i>Citharichthys gilberti</i>	Lenguado tapadero
				<i>Citharichthys platophrys</i>	Lenguado zingua
		SILURIFORMES	ARIIDAE	<i>Cathorops fuerthii</i>	Bagre
				<i>Cathorops steindachneri</i>	Bagre
		TETRAODONTIFORMES	TETRAODONTIDAE	<i>Spherooides annulatus</i>	Tambolero
				<i>Spherooides trichocephalus</i>	Tambolero enano
		Indet.	Indet.	Indet.	Larvas / Alevines
ANIMALIA	ECHINODERMATA	ECHINOIDEA	CLYPEASTEROIDEA	MELLITIDAE	<i>Encope sp.</i>
			CARDIIDA	SOLECURTIDAE	<i>Tagelus affinis</i>
				TELLINIDAE	<i>Tellina sp.</i>
		MYOIDA	PHOLADIDAE	<i>Pholas chiloensis</i>	
		NUCULOIDA	NUCULIDAE	<i>Nucula sp.</i>	
		OSTREOIDA	OSTREIDAE	<i>Ostrea palmula</i>	
			CORBICULIDAE	<i>Corbicula nitens</i>	
					Indet.
	MOLLUSCA	BIVALVIA	VENEROIDA	<i>Chione sp.</i>	
				VENERIDAE	
				<i>Protothaca asperrima</i>	
				<i>Protothaca sp.</i>	

			ARCHAEPULMONATA	ELLOBIIDAE	<i>Tralia sp.</i>	
			BASOMMATOPHORA	MELAMPIDAE	<i>Ellobium stagnalis</i> <i>Melampus sp.</i>	
			CAENOGASTROPODA	VEMERTIDAE	Indet.	
				CREPIDULIDAE	<i>Crepidula sp.</i>	
				LITTORINIDAE	<i>Littorina sp.</i>	
			MESOGASTROPODA		<i>Neolitorina varians</i>	
				NATICIDAE	<i>Natica sp.</i>	Indet.
					<i>Natica unifasciata</i>	
				POTAMIDIDAE	<i>Cerithidae mazatlanica</i> <i>Cerithidae montagnei</i>	
			NEOGASTROPODA	CONIDAE	<i>Conus sp.</i>	
				MURICIDAE	<i>Thais sp.</i>	
			NERITOIDEA	NERITIDAE	<i>Nerita latisima</i>	
			SORBEOCONCHA	BUCCINIDAE	<i>Solenosteira gatesi</i> Indet.	
			STYLOMMATOPHORA	SYSTROPHIIDAE	<i>Systrophia sp. (terrestre)</i>	
	PLATYHELMINTHES	Indet.	Indet.	Indet.	Indet.	Planaria

Magnitud y categoría del evento de El Niño 2023 - 2024 en la microcuenca Sarampión, Manabí - Ecuador

Magnitude and category of the El Niño 2023 - 2024 event in the
Sarampión micro-basin, Manabí - Ecuador

Francisco Javier Velásquez Intriago¹, Hugo Miguel Cobeña
Navarrete¹, Marcos Javier Vera Vera¹, Leonardo Sebastián Bazurto
Meza¹

¹Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López. Calceta,
Ecuador.

Recibido 10 febrero 2024, recibido en forma revisada 10 abril 2024, aceptado 10 de mayo 2024, en línea 30 de
junio 2024.

Resumen

La presente investigación tuvo como finalidad determinar la magnitud y categoría del evento de El Niño en el período comprendido desde enero 2023 a marzo 2024 en la microcuenca Sarampión de la provincia de Manabí en Ecuador. Mediante interpolación se obtuvo una base histórica (1980-2017) de precipitaciones. Se instalaron dos estaciones meteorológicas de marca Sainlogic para el monitoreo de las precipitaciones en el área y período de estudio, que sirvió en conjunto con el histórico de precipitaciones para el cálculo del índice de anomalías de precipitación (IAP) para la determinación de la magnitud por precipitaciones, por otra parte se realizó un análisis de las anomalías de temperatura superficial del mar (ATSM) en la región de El Niño 1+2 para determinar la categoría por índice Costero El Niño (ICEN). En conclusión, se determinó las magnitudes de IAP y las categorías del ICEN mensuales, obteniéndose un IAP para el año 2023 de 2,35 que cualitativamente significó un Niño de magnitud muy lluvioso.

Palabras clave: Evento de El Niño, índice de anomalías de precipitación, anomalías de temperatura superficial del mar, índice Costero El Niño.

Abstract

The purpose of the research was to determine the magnitude and category of the El Niño event in the period from January 2023 to March 2024 in the Sarampión microbasin of the province of Manabí in Ecuador. Through interpolation, a historical base (1980-2017) of precipitation was obtained. Two Sainlogic brand meteorological stations were installed to monitor precipitation in the study area and period, which served in conjunction with the precipitation history for the calculation of the precipitation anomaly index (IAP) for the determination of the magnitude by precipitations, on the other hand. In addition, sea surface temperature anomalies (ATSM) in the El Niño 1+2 region was carried out to determine the category by Coastal El Niño Index (ICEN). In conclusion, the magnitudes of IAP and the monthly ICEN categories were determined, obtaining an IAP for the year 2023 of 2.35, which qualitatively meant a very rainy El Niño.

Keywords: El Niño event, precipitation anomaly index, sea surface temperature anomalies, El Niño Coastal Index.

Introducción

Los eventos de El Niño y La Niña tienen sus repercusiones en la cantidad de precipitaciones en diferentes regiones del Ecuador y el mundo; sin embargo, en la cuantificación de la magnitud en la fase de El Niño, se utiliza también como indicador la temperatura superficial del mar, el cambio de dirección de los vientos atmosféricos, la profundidad de la termoclina, la velocidad de la corriente del Niño como también los impactos en la salud, la

infraestructura y la agricultura (Takahashi et al., 2014).

El impacto de El Niño en América del Sur es modulado por diversos factores, incluyendo la diversidad de los eventos de El Niño, otras variabilidades climáticas dentro y fuera del Pacífico, interacciones climáticas entre cuencas y el calentamiento global. A pesar de los avances en la comprensión de las teleconexiones de El Niño con América del Sur, persisten incertidumbres sobre la robustez de estos impactos y su interacción

* Correspondencia del autor:

E-mail: francisco.velasquezin@espm.edu.ec



Esta obra está bajo una licencia de creative commons: atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0. Los autores mantienen los derechos sobre los artículos y por tanto son libres de compartir, copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra.

con el calentamiento global (Cai et al., 2020). Por lo tanto, se requiere un esfuerzo internacional coordinado para cerrar las brechas observacionales, teóricas y de modelado que actualmente limitan el progreso en la predicción y proyección de los impactos de El Niño.

Por otra parte, para Pérez et al. (2022) la variabilidad espacial y temporal de la precipitación a nivel de cuencas hidrográficas en un evento de El Niño tiene un grado incidencia en las anomalías de precipitación; aun así, las anomalías para cada región no tienen que ser una constante ya que dependen de un sinnúmero de factores microclimáticos y macroclimáticos. En concordancia con F. Seidel et al. (2020) para la costa de Ecuador y el norte de Perú la relación espacial y temporal de la precipitación con la temperatura superficial del mar es evidente en el incremento variable de la precipitación en la fase cálida de El Niño.

Es importante destacar que la magnitud de un evento ya sea de El Niño o La Niña dependerá de la permanencia de las condiciones de sus indicadores, adicionalmente las sequías tanto como las inundaciones están estrechamente relacionadas con El Niño-Oscilación del Sur, ENOS o ENSO (inglés), que dependen de la fase y ubicación de la región en estudio (Cai et al., 2020). Por otra parte, es necesario elaborar una secuencia metodológica que permita establecer de manera práctica la magnitud y categoría de estos eventos climáticos.

Es necesario destacar que en una investigación realizada por Thielen et al. (2023) se observó que en la dinámica espacial en Ecuador para los megaeventos EP83 (año 1983), EP98 (año 1998) del Pacífico oriental y El Niño costero COA17 (año 2017), incrementaron sus precipitaciones en la vertiente del Pacífico.

Materiales y Método

La presente investigación tuvo lugar en la microcuenca Sarampión que cuenta con una superficie de 6,43 Km², la cual se encuentra ubicada en el cantón Bolívar, provincia de Manabí perteneciente a la región costa del Ecuador, acorde a Cobeña et al. (2022) el área de estudio cuenta con un clima de tipo tropical megatérmico semihúmedo con una precipitación media anual de 1195,24 mm, definido normalmente por una estación lluviosa de 5 meses y una estación seca de 7 meses.

Para la determinación de la magnitud y categoría del evento de El Niño en el período comprendido desde enero 2023 a marzo 2024 se realizaron varios pasos. El primer paso de este proceso investigativo consistió en la instalación de dos estaciones meteorológicas automáticas inalámbricas de marcas Sainlogic 5 en 1 (medidor de lluvia, velocidad/dirección del viento, temperatura, humedad relativa y presión de aire) en el área de estudio para el seguimiento de las precipitaciones.

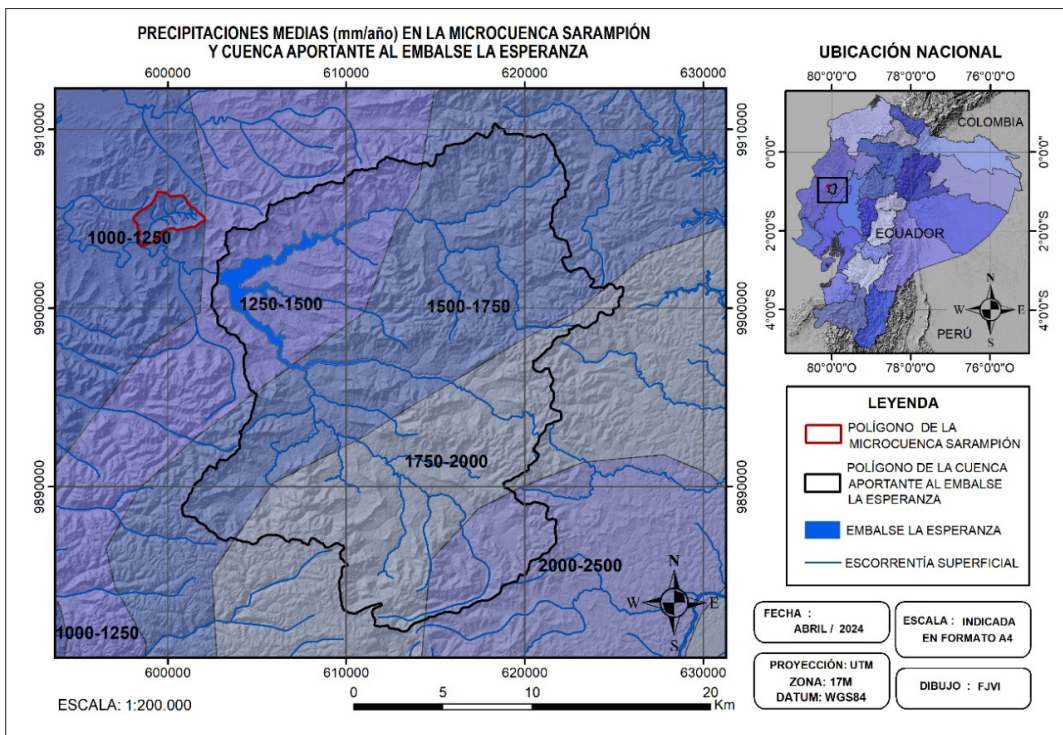



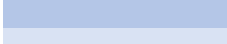
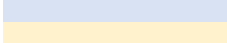






Figura 1. Precipitaciones medias (mm/año) en la microcuenca Sarampión y cuenca aportante al embalse La Esperanza

Tabla 1. Magnitudes por índice de anomalías de precipitación (IAP)

Rango de IAP cuantitativo	Magnitud cualitativa	Rampa de color
Igual o mayor 4	Extremadamente lluvioso	
De 2 a 3,99	Muy lluvioso	
De 1 a 1,99	Moderadamente lluvioso	
De 0,50 a 0,99	Ligeramente lluvioso	
De 0,49 a -0,49	Cercano a lo normal	
De -0,50 a -0,99	Ligeramente seco	
De -1 a -1,99	Moderadamente seco	
De -2 a -3,99	Muy seco	
Igual o menor de -4	Extremadamente seco	

Fuente: Van Rooy (1965) adaptado por Velásquez et al. (2024)

En segunda instancia se obtuvo las precipitaciones medias históricas para la microcuenca de Sarampión mediante interpolación, utilizando una base histórica desde el año 1980 al 2017 de precipitaciones medias de la cuenca aportante al embalse La Esperanza (Velásquez, 2020), cercana al área de investigación como se aprecia en la Figura 1.

En tercer lugar, se calcularon los índices de anomalías de precipitación positivas y negativas establecidos por Van Rooy (1965), en función de la serie histórica interpolada a escala de tiempo mensual e interanual, considerando que estos índices meteorológicos son eficientes en cuanto al resultado, y sencillo en cuanto a su método de cálculo, mediante las siguientes ecuaciones:

$$Si P > P_m \quad IAP = 3 * \left[\frac{P - P_m}{M - P_m} \right] \text{ Ecuación 1}$$

$$Si P < P_m \quad IAP = -3 * \left[\frac{P - P_m}{X - P_m} \right] \text{ Ecuación 2}$$

Donde:

IAP : Índice de anomalía de precipitación

P : Precipitación en análisis (mm)

P_m : Precipitación media de la serie histórica (mm)

Tabla 2. Categorías del índice Costero El Niño - ICEN

Categorías	Valor mensual del ICEN
Fría fuerte	Menor que -1,4
Fría moderada	Mayor o igual que -1,4 y menor que -1,2
Fría débil	Mayor o igual que -1,2 y menor que -1,0
Neutra	Mayor o igual que -1,0 y menor o igual que 0,4
Cálida débil	Mayor que 0,4 y menor que 1,0
Cálida moderada	Mayor que 1,0 y menor que 1,7
Cálida fuerte	Mayor que 1,7 y menor que 3,0
Cálida extraordinaria	Mayor que 3,0

Fuente: Comité ENFEN (2012); Takahashi et al. (2014)

M : Promedio de las 10 más altas precipitaciones de la serie histórica (mm)

X : Promedio de las 10 más bajas precipitaciones de la serie histórica (mm)

En cuarto orden para la determinación cuantitativa y cualitativa de la magnitud por IAP del evento de El Niño 2023 - 2024 en la microcuenca Sarampión, se utilizó la Tabla 1 adaptada por los autores.

Seguidamente se obtuvo las anomalías de temperatura superficial del mar en la región de El Niño 1+2, mediante la página web de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA por sus siglas en inglés), a través del enlace: <https://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/sstoi.indices>, información que sirvió para determinar la categoría mensual del evento de El Niño por índice Costero El Niño (ICEN), aplicando la tabla 2.

Posteriormente empleando el software ArcGIS 10.4.1 se elaboró un mapa de secuencia mensual de anomalías de temperatura superficial del mar en la región 1+2 del océano Pacífico durante período comprendido desde enero 2023 a marzo 2024, empleando imágenes rásteres (extensión .tiff) de las anomalías mensuales de temperatura superficial del mar, obtenidas del enlace: https://iridl.ldeo.columbia.edu/maproom/ENSO/SST_Plots/Monthly_Anomaly.html

Tabla 3. Ponderación cualitativa de Pearson entre la relación de las variables

Coeficiente de correlación Pearson	
Según su valor: Relación entre las variables:	
1	Perfecta
0,9 a 0,99	Excelente
0,8 a 0,89	Buena
0,5 a 0,79	Regular
0 a 0,49	Mala

Fuente: Ruiz (2007) adaptado por Velásquez et al. (2024)

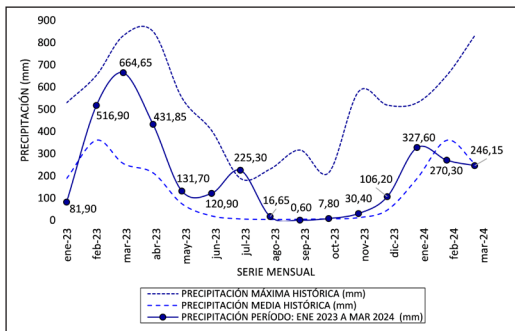


Figura 2. Precipitaciones: máxima histórica, media histórica y período evento de el niño: enero 2023 a marzo 2024 en la microcuenca Sarapiquí

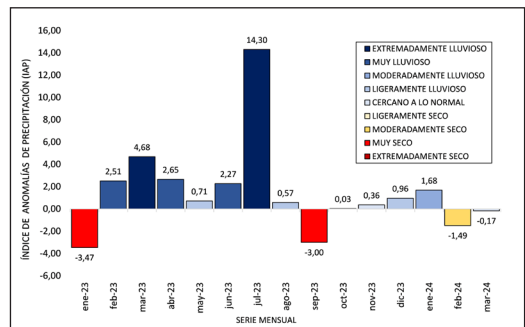


Figura 3. Magnitud por índice de anomalías de precipitación (IAP) desde enero 2023 a marzo 2024

Para la ponderación cualitativa de Pearson entre relación de las variables se aplicó la siguiente escala representada en la tabla 3:

Finalmente se realizó una tabla que muestra el condensado de los resultados de precipitación máxima y media histórica, así como también de la precipitación del período en estudio, mostrando las categorías mensuales del índice Costero El Niño - ICEN de la región: Niño 1+2, y las magnitudes cuantitativas y cualitativas del índice de precipitación - IAP.

Resultados y Discusión

En el análisis de la precipitación en el área y período de estudio (enero 2023 - marzo 2024) de la presente investigación mostraron resultados de precipitaciones entre la máxima y media histórica (Figura 2.), precipitaciones que estuvieron por encima de la media histórica debido al evento de El Niño suscitado para este período y que tienen su mayor influencia por aumento de las lluvias en la costa ecuatoriana, en concordancia con F. Seidel et al. (2020) durante los episodios cálidos en el Pacífico oriental tropical, como el evento de El Niño, la conexión entre la temperatura del mar y la precipitación se hace más clara, evidenciando un aumento en las precipitaciones en estas áreas costeras del Ecuador.

En la figura 3 se muestra la magnitud por índice de anomalías de precipitación (IAP) desde enero 2023 a marzo 2024 el cual muestra 11 meses por encima de la media de precipitaciones y 4 meses por debajo de la media analizada, que en el análisis de precipitaciones multianuales (Figura 4), corresponde a un evento muy lluvioso para el año 2023 según el índice de anomalías de precipitación para el área de la microcuenca de Sarapiquí, identificando al mes de julio del 2023 como extremadamente lluvioso de acuerdo al IAP con categoría de índice Costero El Niño - ICEN de extremadamente cálido (Tabla 4). Acorde a Tavares et al. (2021) el índice de anomalías de lluvia (IAC por sus siglas en portugués) es una herramienta efectiva para evaluar eventos de lluvia inusual en el análisis de las precipitaciones, lo que contribuye a una mejor comprensión de los modos de variabilidad climática, como El Niño y La Niña.

Por otra parte, en el análisis de las magnitudes de precipitación multianual (Figura 4) para el período y área de estudio se observó una magnitud de evento de El Niño de muy lluviosa para el año 2023 con respecto al índice de anomalías de precipitación, que en relación a la investigación realizada Thielen et al.

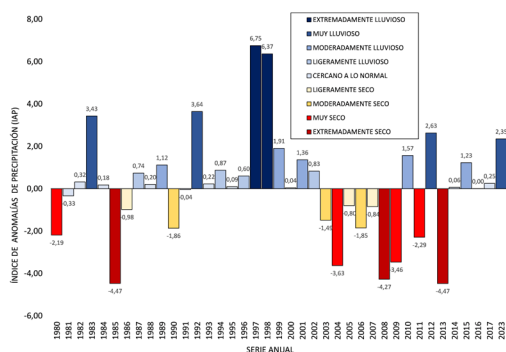


Figura 4. Magnitudes de índice de anomalías de precipitación multianual

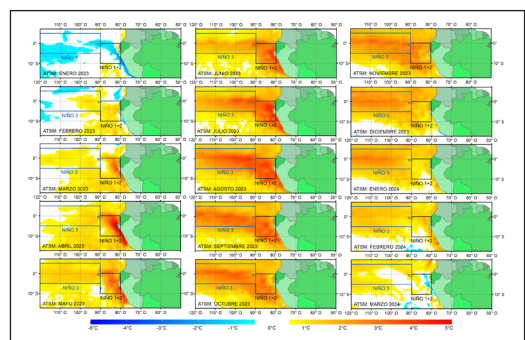


Figura 5. Secuencia de "anomalías de temperatura superficial del mar (ATSM)" en la región 1+2 del océano Pacífico durante el período: enero 2023 a marzo 2024, elaborado a partir de los rásteres de extensión .tiff de ATSM, obtenidas del enlace: https://iridl.ldeo.columbia.edu/maproom/ENSO/SST_Plots/Monthly_Anomaly.html

Tabla 4. Condensado de precipitación máxima histórica, media histórica, período de análisis, categoría ICEN región: Niño 1+2 y magnitud cuantitativa-cualitativa del IAP

Meses	Precipitación máxima histórica (mm)	Precipitación media histórica (mm)	Precipitación período: enero 2023 a marzo 2024 (mm)	Temperatura superficial del mar (TSM), región: Niño 1+2 (°C)	Anomalías de TSM, región: Niño 1+2	Categorías del índice Costero El Niño - ICEN, región: Niño 1+2	Magnitud cuantitativa del índice de anomalías de precipitación (IAP)	Magnitud cualitativa del IAP
Enero 2023	529,19	188,65	81,90	24,27	-0,24	Neutra	-3,47	Muy seco
Febrero 2023	652,62	360,64	516,90	26,8	0,71	Cálida débil	2,51	Muy lluvioso
Marzo 2023	831,06	255,97	664,65	28,12	1,52	Cálida moderada	4,68	Extremadamente lluvioso
Abril 2023	850,20	214,04	431,85	28,18	2,45	Cálida fuerte	2,65	Muy lluvioso
Mayo 2023	552,23	74,86	131,70	26,63	2,02	Cálida fuerte	0,71	Ligeramente lluvioso
Junio 2023	404,29	20,04	120,90	25,81	2,63	Cálida fuerte	2,27	Muy lluvioso
Julio 2023	188,69	6,67	225,30	25,05	3,21	Cálida extraordinaria	14,30	Extremadamente lluvioso
Agosto 2023	230,78	3,85	16,65	24,16	3,3	Cálida extraordinaria	0,57	Ligeramente lluvioso
Septiembre 2023	316,44	4,83	0,60	23,4	2,82	Cálida fuerte	-3,00	Muy seco
Octubre 2023	214,48	7,06	7,80	23,34	2,46	Cálida fuerte	0,03	Cercano a lo normal
Noviembre 2023	578,94	12,20	30,40	23,85	2,22	Cálida fuerte	0,36	Cercano a lo normal
Diciembre 2023	518,62	46,43	106,20	24,25	1,41	Cálida moderada	0,96	Ligeramente lluvioso
Enero 2024	529,19	188,65	327,60	25,35	0,83	Cálida débil	1,68	Moderadamente lluvioso
Febrero 2024	652,62	360,64	270,30	27,02	0,92	Cálida débil	-1,49	Moderadamente seco
Marzo 2024	831,06	255,97	246,15	26,88	0,28	Neutra	-0,17	Cercano a lo normal

(2023), los eventos de El Niño en la costa ecuatoriana varían considerablemente según el tipo de evento, con impactos profundos en la precipitación, la economía y la infraestructura. Los eventos de El Niño del Pacífico Oriental (EP) y los eventos de El Niño Costero (COA) presentan diferencias significativas en la distribución espacial y temporal de las anomalías de precipitación. Por ejemplo, los eventos EP de 1982/83 y 1997/98 generaron anomalías extremas de precipitación que afectaron principalmente a altitudes de hasta 1000 metros y 500 metros, respectivamente, mientras que

el evento COA de 2017 afectó altitudes de hasta 800 metros. Los eventos de El Niño no solo causan daños directos a la infraestructura y la agricultura, sino que también tienen repercusiones socioeconómicas significativas, como migraciones masivas y brotes de enfermedades. Comprender estas diferencias es crucial para la gestión efectiva de los riesgos asociados con estos eventos climáticos extremos, que ayudan a la implementación de estrategias de mitigación y adaptación más adecuadas para reducir la vulnerabilidad de las comunidades afectadas.

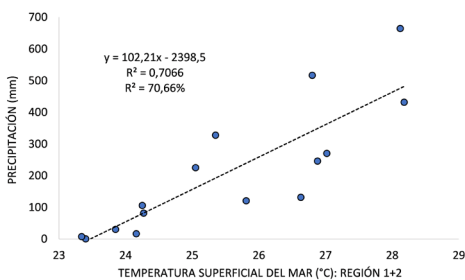


Figura 6. Correlación de la precipitación del período: enero 2023 a marzo 2024 en la microcuenca Sarampión versus la temperatura superficial del mar en la región 1+2 del océano Pacífico

Actualmente los sistemas de información geográfica (SIG) en el estudio de las dinámicas de las variables del clima, han ayudado a mejorar los modelos climáticos y el entendimiento de los parámetros meteorológicos y de temperatura superficial del mar (TSM) en las investigaciones de los eventos de El Niño y La Niña. Mediante el uso de los SIG se obtuvo una secuencia de anomalías de TSM en la región 1+2 del océano Pacífico (Figura 5), en el cual se evidenció una correlación positiva de 70,66% equivalente a regular según la ponderación cualitativa de Pearson (Tabla 3), entre la relación de las variables TSM (°C) de la región: Niño 1+2 y precipitación (mm) del período observado: enero 2023 a marzo 2024 (Figura 6).

Con relación a Nieto (2020) que presentó un estudio detallado sobre la relación entre la temperatura superficial del mar (TSM) en la región Niño 1+2 y las precipitaciones en Guayaquil (costa ecuatoriana), encontró una alta correlación entre los índices Niño 1+2 y Oscilación Madden-Julian (MJO) en la longitud 120W, con las precipitaciones para los meses de enero, marzo y abril, con coeficientes de determinación (R^2) de 0,80, 0,77 y 0,82, respectivamente; mientras que, para febrero la correlación fue baja (0,19), de un bloque de tiempo desde 1978 a 2004 de precipitación acumulada.

Como parte final de este artículo se condensó toda la información de esta investigación en la tabla 4, en el que se observa las precipitaciones máximas históricas, medias históricas, período de análisis, categoría ICEN región: Niño 1+2 y magnitudes cuantitativas y cualitativas del índice de anomalías de precipitación (IAP), detalladas mensualmente desde enero del 2023 a marzo 2024.

Conclusiones

La precipitación en el área y período de estudio (enero 2023 - marzo 2024) mostraron resultados de precipitaciones en la mayoría de los meses (11 de 15) entre la máxima y media histórica, debido al evento de El Niño suscitado en este período evidenciado por un aumento de la temperatura superficial del mar (TSM) en la región 1+2 y un incremento de las lluvias en la costa ecuatoriana.

La magnitud por índice de anomalías de precipitación (IAP) para el año 2023 fue de 2,35 que cualitativamente significó un Niño de magnitud muy lluvioso, acorde al análisis multianual de una serie de tiempo de 38 años de precipitaciones medias mensuales (1980-2017) en la microcuenca de Sarampión.

Existió una correlación positiva de 70,66% del coeficiente de determinación (R^2) equivalente a regular según ponderación cualitativa de Pearson entre las variables: anomalías de la TSM en la región Niño 1+2 y las precipitaciones en la microcuenca de Sarampión para el período: enero 2023 a marzo 2024.

Recomendaciones

Promover estrategias de ajuste de variabilidad climática en la región costera de Ecuador que ayuden a disminuir la susceptibilidad frente a fenómenos climáticos extremos tomando en cuenta precipitaciones máximas, medias y mínimas históricas, categorías ICEN región: Niño región 1+2 y magnitudes del IAP.

Implementar sistemas de alerta temprana mediante el continuo análisis de las magnitudes por índices de anomalías de precipitación y categoría del evento de El Niño en concordancia con las medidas de preparación, respuesta y recuperación que

permitan resistir y mitigar los impactos de las precipitaciones extremas asociadas con El Niño, que incluya capacitación y concientización constante a la población en coordinación y colaboración con entidades gubernamentales, organizaciones de la sociedad civil y comunidades locales.

Entender que las correlaciones de la variable TSM y precipitaciones en la costa ecuatoriana subrayan en la complejidad de los procesos climáticos que desembocan en la variabilidad espacio temporal de dichos parámetros, y la necesidad de considerar otras variables que permita obtener una menor incertidumbre de los resultados.

Referencias

- Cai, W., McPhaden, M.J., Grimm, A.M., Rodrigues, R.R., Taschetto, A.S., Garreaud, R.D., Dewitte, B., Poveda, G., Ham, Y.G., Santoso, A., Ng, B., Anderson, W., Wang, G., Geng, T., Jo, H.S., Marengo, J.A., Alves, L.M., Osman, M., Li, S., Wu, L., Karamperidou, C., Takahashi, K. y Vera, C. (2020). Climate impacts of the El Niño-Southern Oscillation on South America. *Nat. Rev. Earth Environ.* 1, 215-231., <https://doi.org/10.1038/s43017-020-0040-3>
- Cobaña, H., Velásquez, F., Navarrete, J. y Delgado, C. (2022). Caracterización biofísica de la microcuenca Sarampión, Manabí - Ecuador. *Revista Científica Ciencias Naturales y Ambientales* 16(2)., <https://doi.org/10.53591/cna.v16i2.1863>
- ENFEN, (2012). Definición operacional de los eventos El Niño y La Niña y sus magnitudes en la costa del Perú, Nota Técnica., <https://www.dhn.mil.pe/portal/nota-tecnica-enfen>
- F. Seidel, H., Perugachi Salamea, C., García Arévalo, I. y González Narváez, M. (2020). La relación entre la precipitación en Ecuador y la temperatura superficial del mar en el Océano Pacífico. *Revista Acta Oceanográfica Del Pacífico*, 2(1)., <https://doi.org/10.54140/raop.v2i1.22>
- FIMCM (2023). Informe técnico: Índice de Oscilación del Sur. Buró Meteorológico de Australia (BOM). Eds. Jonathan Cedeño, Dayanara Navarrete. Proyecto El Niño, FIMCM-ESPOL. Guayaquil., http://www.enos.espol.edu.ec/sites/default/files/U%20Ed_Nota_SOI_BOM_v1.pdf
- Nieto, J. J. (2020). Modelo de regresión lineal múltiple para determinar influencias del Índice Niño 1+2 y la MJO sobre las precipitaciones en Guayaquil durante enero-febrero-marzo y abril. *Acta Oceanográfica del Pacífico*, 2(1), 35-41. <https://doi.org/10.54140/raop.v2i1.23>
- Pérez-Ortiz, M.A., Montenegro-Murillo, D.D. y Vargas-Franco, V. (2022). Análisis de la influencia de la variabilidad climática en la precipitación de la cuenca del río Cali, Colombia. *DYNA*, 89(221), pp. 168-177., <https://doi.org/10.15446/dyna.v89n221.101607>
- Ruiz, M. 2007. Curso de Estadística Básica, Inferencias Estadísticas II, Sección V. Fundación de la formación e investigación sanitaria de la región de Murcia. En sitio web: http://www.fff.es/ups/Sesion_V_VI.ppt
- Takahashi, K., Mosquera, K. y Reupo, J. (2014). El Índice Costero El Niño (ICEN): historia y actualización. Boletín técnico: Generación de modelos climáticos para el

- pronóstico de la ocurrencia del Fenómeno El Niño, Instituto Geofísico del Perú, 1 (2), 8-9., <http://hdl.handle.net/20.500.12816/4639>
- Tavares, C. M. G., Carvalho, P. M., Oliveira, T. A., Sanches, F. y Ferreira, C. C. M. (2021). O uso do índice de anomalia de chuva (iac) em juiz de fora- minas gerais. *Revista Equador (UFPI)*, 10(1), 222-244. <https://www.ojs.ufpi.br/index.php/equador>, <https://doi.org/10.26694/equador.v10i01.12207>
- Thielen, D. R., Ramoni-Perazzi, P., Zamora-Ledezma, E., Puche, M. L., Marquez, M., Quintero, J. I., Rojas, W., Quintero, A., Bianchi, G., Soto-Werschitz, I. A. y Arizapana-Almonacid, M. A. (2023). Effect of extreme El Niño events on the precipitation of Ecuador, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 23, 1507-1527., <https://doi.org/10.5194/nhess-23-1507-2023>
- Van Rooy, M.P. (1965). A rainfall anomaly index independent of time and space. *Notos*, 14, 43-48.
- Velásquez, F. (2020). Modelo de simulación dinámica aplicado al aprovechamiento eficiente del embalse La Esperanza, Manabí - Ecuador. Tesis para optar grado de Doctor en Ciencias Ambientales. Unidad de Posgrado, Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú., <https://hdl.handle.net/20.500.12672/11569>

Contenidos de la Revista Científica de Ciencias Naturales y Ambientales Vol. 18(1)

Bianálisis de la situación actual y prospectiva de los biocombustibles en México / Bianálisis of the current and prospective situation of biofuels in Mexico.....	
Luis Ángel Alamilla-Escamilla, Juan Manuel Rivera-Ramírez.....	527
Determinación del crecimiento de una plantación <i>Tectona grandis</i> L. f., Parroquia Sucre cantón 24 de Mayo, Manabí, Ecuador / Determination of the growth of a <i>Tectona grandis</i> L. f. plantation, Sucre Parish, 24 de Mayo canton, Manabí, Ecuador.....	
.....César Alberto Cabrera Verdesoto, Jennifer Andrea García Álava Otto Francisco Mero Jalca, Ignacio Estévez Valdez, Rodrigo Paúl Cabrera Verdezoto.....	536
Caracterización Geomorfológica de la Microcuenca del Estero Mutile Utilizando Modelos Digitales de Elevación (MDE) en el Software QGIS 3.36.2 / Geomorphological characterization of the Mutile Estuary Microbasin Using Digital Elevation Models (DEM) in QGIS 3.36.2 Software	
.....Jesmar Jandry Corozo Hurtado, Patricio Alejandro Merino Córdova.....	542
Derecho ambiental: una visión aplicada de los principios ambientales en la normativa Ecuatoriana / Environmental law: an applied vision of regulatory environmental principles in Ecuador	
.....Jorge Joaquín Jaramillo Moreno.....	553
Estimación del descenso de volumen del embalse Mazar en Ecuador mediante teledetección/ Estimation Of The volume decrease of the Mazar reservoir in Ecuador using remote sensing	
.....Miguel Torres Campozano, Antonella Bermúdez Zambrano.....	563
Magnitud y categoría del evento de El Niño 2023 - 2024 en la microcuenca Sarampión, Manabí - Ecuador/ Magnitude and category of the El Niño 2023 - 2024 event in the Sarampión micro-basin, Manabí - Ecuador.....	
.....Francisco Javier Velásquez Intriago, Hugo Miguel Cobeña Navarrete, Marcos Javier Vera Vera, Leonardo Sebastián Bazurto Meza.....	568
Levantamiento base del medio biótico del manglar La Boca, provincia de Manabí, Ecuador / Base survey of the biotic environment of the La Boca mangrove, Manabí province, Ecuador	
.....Gabriel Sebastián Vaca Núñez, Xavier Vicente Piguave Preciado.....	582

Normas para la publicación de artículos, “Revista Científica de Ciencias Naturales y Ambientales” / Guidelines for publishing articles “Revista Científica de Ciencias Naturales y Ambientales”