



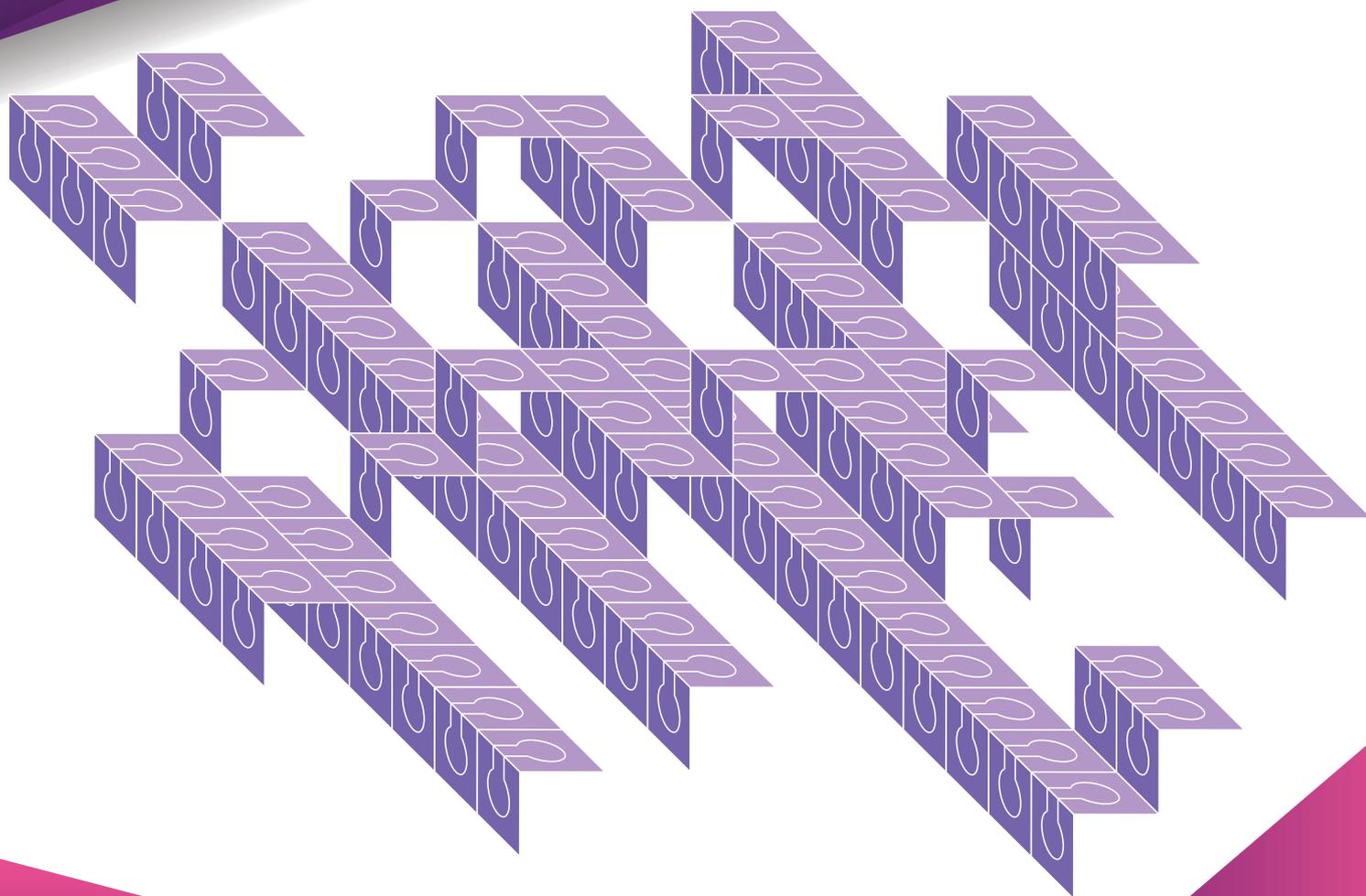
Pontificia Universidad
Católica del Ecuador

Sede
Ibarra

AXIOMA

Axioma • Año XV • Número 21 • Julio - Diciembre 2019

***REVISTA CIENTÍFICA DE DOCENCIA,
INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN SOCIAL***





Axioma • Año XV • número 21 • Julio-Diciembre 2019. Revista semestral de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra, en las áreas de: investigación, docencia y proyección social. Publicación bilingüe dedicada a estudios relacionados con las ciencias sociales y exactas. Los artículos informativos y opiniones expresadas en las colaboraciones son de exclusiva responsabilidad de los autores.



Editora General:

Prorectora PUCE-SI
Ph.D. María Josefa Rubio Gómez
Ibarra: Av. Jorge Guzmán Rueda y Av. Aurelio
Espinosa Pólit. Cdl. "La Victoria"
Teléfono: 06 2615 500 / 06 2615 631
Fax: (593)6-2615 446
Apartado Postal 10.01.12
web Site: www.pucesi.edu.ec
Email: prorect@pucesi.edu.ec

ISSN: 1390-6267

ISSN electrónico: 2550-6684
Indizada/Resumida en
Latindex-Directorío- Catálogo 2.0
Folio 21178

Tiraje: 500 ejemplares

Ilustración de portada:

Título: Teselaciones

Autor: José David Cruz
Escuela de Diseño de la PUCE-SI

Concepto gráfico y diagramación:

Ing. Ricardo Parra - 0984 90 33 64

Impresión:

 **Active Graph**
DISEÑO - IMPRESIÓN - PUBLICIDAD
activegraph@gmail.com
www.active-graph.com
Quito - Ecuador



Consejo Editorial Interno

1. Ph.D. NANCY ULLOA ERAZO, Coordinadora de la Unidad de Comunicación Institucional de la PUCE-SI
2. Ph.D. FRANCKLIN RIVAS ECHEVERRÍA, Docente de la Escuela de Ingeniería de la PUCE-SI
3. Mgs. EDMUNDO RECALDE POSSO, Coordinador de Investigación de la Escuela de Ciencias Agrícolas y Ambientales de la PUCE-SI

Consejo Editorial Externo

1. Ph.D. JUAN MANUEL BENÍTEZ DEL ROSARIO, Decano de la Facultad de Economía y Turismo y Profesor Titular de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria
2. Ph.D. MARGARETH HART ROBERTSON, Catedrática de la Universidad de las Palmas de Gran Canaria-España
3. Ph.D. AGUSTÍN SANTANA TALAVERA, Profesor titular de la Universidad de la Laguna-Tenerife-España
4. Ph.D. LARRY FROLICH, Betty Ferguson Endowed Teaching Chair Natural Sciences Miami Dade College Wolfson Campus
5. Ph.D. JOSEP LINARES, Profesor contratado del Departamento de Química UD de Edafología y Química Agrícola en la Universidad Politécnica de Valencia - España
6. Ph.D. JUAN CARLOS MARTÍN QUINTANA, Coordinador del Máster Oficial e Interuniversitario de Intervención Mediación Familiar, social y comunitario de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, Profesor Titular de Universidad de Las Palmas de Gran Canaria
7. Ph.D. ANTONIO GONZÁLEZ MOLINA, Decano de la Facultad de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte y Profesor de la Universidad de las Palmas de Gran Canaria-España
8. Ph.D. FRANCISCO CAMPOS FREIRE, Docente titular de la Universidad de Santiago de Compostela-España
9. Ph.D. PILAR CHARRO BAENA, Docente Catedrática de la Universidad Rey Juan Carlos
10. Ph.D. STEFOS EFSTATHIOS, Vicerrector Académico - Miembro Interno Comisión Gestora I Universidad Nacional de Educación
11. Ph.D. MIGUEL TÚÑEZ LÓPEZ, Profesor titular de la Universidad Santiago de Compostela-España

Comité de Arbitraje

1. Ph.D. JUAN PABLO SUÁREZ CHACÓN, Departamento de Ciencias Naturales de la Universidad Técnica Particular de Loja, Vicerrector de Investigación de la UTPL-Ecuador
2. Ph.D. ÓSCAR VALVERDE RIASCOS, Decano de la Facultad de Humanidades y Ciencias Sociales de la Universidad Mariana de Pasto-Colombia

Consejo de Publicaciones

Editora General: Ph.D. María Josefa Rubio Gómez
Directora: Ph.D. María Fannery Suárez Berrío
Directora Adjunta: Ph.D. Paola Elizabeth Ordóñez Vivanco

Revisión de Estilo y Redacción

Ph.D. Jhenny Marlene Cayambe Terán
Mgs. Irma Daniela Batallas González
Mgs. Daniel Alejandro Díaz Gutiérrez

Traducción

Mgs. Mercy Noguera
Con el aval de la Escuela de Lenguas y Lingüística de la PUCE-SI

Corrección general

Centro de Investigaciones de la PUCE-SI

ÍNDICE

CIENCIAS NATURALES, MATEMÁTICAS Y ESTADÍSTICA

- ANÁLISIS DE LAS AMENAZAS CLIMÁTICAS FUTURAS EN LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS: SANTIAGO, MAYO, PUYANGO Y CATAMAYO** 5
ANALYSIS OF FUTURE CLIMATE THREATS IN THE HYDROGRAPHIC BASINS OF: SANTIAGO, MAYO, PUYANGO AND CATAMAYO
Guillermo Eduardo Armenta, Camelia Sofía, Francisco Gordillo, Andrés Guerrero, Jorge Luis Villa
- CARTOGRAFÍA APLICADA AL CONTROL AMBIENTAL EN DERRAMES DE HIDROCARBUROS** 22
CARTOGRAPHY APPLIED TO ENVIRONMENTAL CONTROL IN HYDROCARBON SPILLS
Pablo Danilo Ordóñez Gutiérrez
- FACTIBILIDAD DEL USO DE COLECTORES SOLARES PARA LA OBTENCIÓN DE AGUA CALIENTE SANITARIA, APLICADA A LA VIVIENDA SOCIAL** 36
FEASIBILITY OF SOLAR COLLECTORS USE TO OBTAIN HOT SANITARY WATER, APPLIED TO SOCIAL HOUSING
José Andrés Palacio Serrano, Sandra Vanessa Valarezo Jaramillo, Fernando Vinicio Moncayo Serrano
- DEVELOPMENT AND VALIDATION OF A HIGH-PERFORMANCE LIQUID CHROMATOGRAPHIC METHOD FOR THE DETERMINATION OF PINOCEMBRIN IN LEAVES OF *Piper ecuadorensis* SODIRO** 48
DESARROLLO Y VALIDACIÓN DE UN MÉTODO EN CROMATOGRAFÍA LÍQUIDA DE ALTA EFICIENCIA PARA LA DETERMINACIÓN DE PINOCEMBRIN EN HOJAS DE LA ESPECIE *Piper ecuadorensis* SODIRO
Santiago Ojeda-Riascos, Mónica Valdivieso, James Calva, Vladimir Morocho, Gianluca Gilardoni, Eduardo Valarezo, and Omar Malagon
- EVALUACIÓN DE SOLUCIONES DE MICROALGAS (*Scenedesmus sp*) COMO BIOESTIMULANTE NATURAL EN EL CULTIVO HIDROPÓNICO DE LECHUGA (*Lactuca sativa*)** 53
TESTING MICROALGAE SOLUTIONS (*Scenedesmus sp*) AS A NATURAL BIOSTIMULANT IN THE LETTUCE HYDROPONIC CULTIVATION (*Lactuca sativa*)
Moraima Mera, Edmundo Recalde, Katherine Lema

CIENCIAS SOCIALES, PERIODISMO, INFORMACIÓN Y DERECHO

- SISTEMA PENITENCIARIO Y HACINAMIENTO: VULNERACIÓN DE DERECHOS HUMANOS A LAS PERSONAS PRIVADAS DE LIBERTAD DEL CENTRO DE REHABILITACIÓN DEL CANTÓN IBARRA** 61
PENITENTIARY SYSTEM AND OVERCROWDING: VULNERATION OF HUMAN BEINGS TO THE PEOPLE DEPRIVED FROM LIBERTY AT THE REHABILITATION CENTER IN IBARRA CITY
Amparo del Carmen Erazo Clerque, Gladys Rocío Torres Nicolalde, Magdalia Maribel Hermoza Vinuesa
- AMBIENTE, ANTROPOCENTRISMO Y BIOCENRISMO EN LA CONSTITUCIÓN DEL ECUADOR** 69
ENVIRONMENT, ANTHROPOCENTRISM AND BIOCENRISM IN THE CONSTITUTION OF ECUADOR
Carlux de Jesús Mejías, Bartolomé Gil Osuna, Priscilla Mendoza, Amparo Erazo

INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN

- PROTOTIPO DE BICICLETA ELÉCTRICA CON ESTACIÓN DE CARGA SOLAR FOTOVOLTAICA COMO MEDIO DE TRANSPORTE URBANO SOSTENIBLE** 76
ELECTRIC BICYCLE PROTOTYPE WITH PHOTOVOLTAIC SOLAR CHARGING STATION AS A MEAN OF SUSTAINABLE URBAN TRANSPORT
José Martín Muñoz Salcedo
- ESTUDIO FORMAL, SIMBÓLICO Y ESTILÍSTICO DE LA FACHADA PRINCIPAL DE LA IGLESIA DE ZARUMA A TRAVÉS DE SU LEVANTAMIENTO FOTOGRAMÉTRICO Y RELEVAMIENTO** 84
FORMAL, SYMBOLIC AND STYLISTIC STUDY OF THE MAIN FAÇADE OF THE CHURCH IN ZARUMA THROUGH THEIR LIFTING SUMMARY ABSTRACT
Jorge Patricio Romero Galarza

Presentación

El presente número de Axioma contiene interesantes artículos de diversas instituciones y temáticas actuales que nos llevan a considerar la importancia de los ámbitos abarcados en el mismo, desde:

Las Ciencias naturales, Matemáticas y Estadística con los artículos presentados por investigadores: - Del Fondo Regional del Agua (FORAGUA) "Análisis de las amenazas climáticas futuras en las cuencas hidrográficas, Santiago, Mayo, Puyango y Catamayo", este ámbito de preocupación mundial, se analiza históricamente y desde una proyección futura. Se destaca el aumento de las precipitaciones y de los eventos extremos (una mayor cantidad de días con lluvias extremas y aumento de la duración de las sequías), así como un evidente incremento de la temperatura.

De EP Petroecuador con "Cartografía aplicada al control ambiental en derrames de hidrocarburos" los investigadores destacan los resultados en la recuperación de 10.5 hectáreas afectadas a través de la inoculación de bacterias que degradan los hidrocarburos en ecosistemas sensibles de la amazonia del Ecuador.

El artículo "Factibilidad del uso de colectores solares para la obtención de agua caliente sanitaria, aplicada a la vivienda social" con la participación de investigadores de la Universidad Técnica Particular de Loja y la Universidad Internacional del Ecuador Sede Loja, muestra los resultados obtenidos en la factibilidad de uso de colectores solares térmicos en el área de estudio, satisfaciendo la necesidad de agua caliente sanitaria de los habitantes a bajo costo, lo que beneficia económicamente a la población, al Estado y a la protección del medio ambiente.

Desde la Universidad Técnica Particular de Loja se participa con el artículo "Development and validation of a high-performance liquid chromatographic method for the determination of pinocebrin in leaves of *Piper ecuadorensis* sodiro" el cual recoge el desarrollo y la validación con éxito de un método simple, preciso, seguro y reproducible en el HPLC para analizar el pinocebrin en extractos de las hojas de *Piper ecuadorensis*, planta nativa utilizada en medicina tradicional por la comunidad indígena de Saraguro.

Investigadores de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador – Sede Ibarra (PUCE-SI) muestran en su estudio sobre "Evaluación de soluciones de microalgas (*Scenedesmus* sp) como bioestimulante natural en el cultivo hidropónico de lechuga (*Lactuca sativa*)" que el uso de soluciones de microalgas vivas durante el ciclo de desarrollo de lechuga hidropónica provoca un incremento en la producción de lechuga sin afectar a la solución hidropónica ni tampoco a la planta.

En las Ciencias Sociales, Periodismo, Información y Derecho, se presentan dos destacados artículos desarrollados por investigadores de la PUCE- SI:

"Sistema penitenciario y hacinamiento: Vulneración de derechos humanos a las personas privadas de libertad del Centro de Rehabilitación del cantón Ibarra". Este trabajo invita a un análisis profundo sobre la realidad del Centro de Rehabilitación Social de Ibarra, a fin de contribuir a mejorar la situación, crear políticas y programas encaminados a brindar una adecuada rehabilitación social de las personas privadas de la libertad; ya que su nivel de hacinamiento es del 255 %,

"Ambiente, antropocentrismo y biocentrismo en la constitución del Ecuador". Es un trabajo documental que, a partir del análisis jurídico, destaca la dimensión ambiental de la Constitución de 2008, la cual estableció tanto el derecho a vivir en un ambiente sano, como los derechos de la naturaleza; por lo que, se concluye que la perspectiva constitucional ambiental incluye el principio antropocéntrico y el biocéntrico.

En el apartado de **Ingeniería, Industria y Construcción**, se presentan dos artículos:

Investigadores de la Universidad Estatal de Milagro con "Prototipo de bicicleta eléctrica con estación de carga solar fotovoltaica como medio de transporte urbano sostenible" este estudio, deriva del diseño, construcción y puesta en marcha de un prototipo de bicicleta eléctrica de tracción trasera, alimentada por un sistema de baterías Ion-Litio, forja una alternativa cero emisiones, proponiéndose como tecnologías limpias y eficientes.

El artículo "Estudio formal, simbólico y estilístico de la fachada principal de la Iglesia de Zaruma a través de su levantamiento fotogramétrico y relevamiento" de un investigador de la PUCE-SI, en el que deja constancia de la necesidad de registro formal de los monumentos patrimoniales del Ecuador, tanto, gráfico y fotográfico, textual e informativo, de cómo se originaron, cómo fueron construidos y cómo se encuentran en la actualidad, y destaca el registro realizado de la fachada principal de la Iglesia de Zaruma, el cual será de mucha utilidad para la conservación y el restauro del bien patrimonial en caso de que éste sufra algún accidente o deterioro debido al tiempo, y así eventualmente ser recuperado en su forma original

Agradecemos a los investigadores sus aportes a la ciencia y la docencia a través de los artículos presentados en este nuevo número de AXIOMA.



PhD. María José Rubio Gómez
Prorectora PUCE-SI

ANÁLISIS DE LAS AMENAZAS CLIMÁTICAS FUTURAS EN LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS: SANTIAGO, MAYO, PUYANGO Y CATAMAYO

Guillermo Eduardo Armenta^{1*}, Camelia Sofiea¹, Francisco Gordillo², Andrés Guerrero¹, Jorge Luis Villa¹

¹Consultor. Fondo Regional del Agua (FORAGUA)

²Director del Fondo Regional del Agua (FORAGUA)

*Autor para correspondencia: motsvanska@gmail.com

Recibido: 2019/05/30

Aprobado: 2019/11/30

DOI: <https://doi.org/10.26621/XV21.2019.12.A01.PUCESI.2550.6684>

RESUMEN

Se presenta el análisis de las tendencias climáticas y eventos climáticos extremos, actuales y futuros, para las cuencas hidrográficas: Santiago, Mayo, Puyango y Catamayo. Este análisis se realizó con base en la información histórica observada de estaciones hidrometeorológicas del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología del Ecuador (INAMHI) y la generada en la Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático. Para el análisis histórico, el periodo de referencia fue 1981-2015, y para el análisis futuro, se trabajó con las proyecciones de los escenarios de cambio climático RCP 4.5 y RCP 8.5 para el periodo 2011-2040. Entre los resultados del análisis se destaca el aumento de la precipitación y de los eventos extremos (una mayor cantidad de días con lluvias extremas y aumento de la duración de las sequías), así como un evidente incremento de la temperatura, tanto en los valores medios como en la cantidad de días con temperaturas muy altas.

Palabras clave: tendencias climáticas, escenarios de cambio climático, ventos extremos, índices climáticos

ABSTRACT

An analysis of, current and future, climatic trends and extreme climate events, for Santiago, Mayo, Puyango and Catamayo Hydrographic Basins is presented. This analysis was made using historical information from weather stations of the National Institute of Meteorology and Hydrology of Ecuador (INAMHI) and information generated in the Third National Communication of Climate Change. For historical analysis, the base period was 1981-2015, and for future analysis, RCP 4.5 and RCP 8.5 climate change scenarios projections for the 2011-2040 period were used. Results show an increase in the precipitation and in extreme events (more days with extreme rains and longer droughts). Also, the results show an evident temperature increase in the average values, as well as, in the amount of days with extreme temperatures

Keywords: climatic trends, climate change scenarios, extreme climate events, climatic indexes

INTRODUCCIÓN

El concepto de “cambio climático” se refiere a una variación gradual y permanente del clima y a la variabilidad del sistema climático, el cual se mantiene de manera casi constante durante varias décadas. La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) solamente tiene en cuenta aquel que es causado por actividades humanas y llevan a un incremento en la concentración de los Gases de Efecto Invernadero (GEI) en la atmósfera. Entre estas actividades se encuentran los cambios en el uso de la tierra, los procesos industriales y el uso de combustibles fósiles (IPCC, 2014).

Por otra parte, un “escenario” se define como una descripción coherente, internamente consistente y convincente de un posible estado futuro del mundo, y en este caso, del clima (IPCC-DDC, 2013). Como tal, los escenarios no deben asumirse como pronósticos o predicciones, sino como una imagen alternativa de cómo el futuro puede mostrarse bajo determinadas condiciones en un tiempo dado (Armenta, et al; 2015). Actualmente, el Quinto Reporte de Evaluación (AR5) del IPCC utiliza los escenarios definidos como “Vías Representativas de Concentraciones” o RCP (Representative Concentration Pathways, por sus siglas en inglés) (Figura 1). Estos escenarios, en términos generales, definen los niveles de concentraciones de CO₂ equivalentes que se tendrían hacia el año 2100. Basado en estos niveles y a partir de este año de referencia se mira hacia atrás a diferentes supuestos (desarrollos tecnológicos, uso de combustibles fósiles, energías renovables, políticas ambientales, medidas de adaptación y mitigación, control del crecimiento de la población, modelos económicos globales o regionales, entre otros) que podrían llevar a esos niveles de concentración.

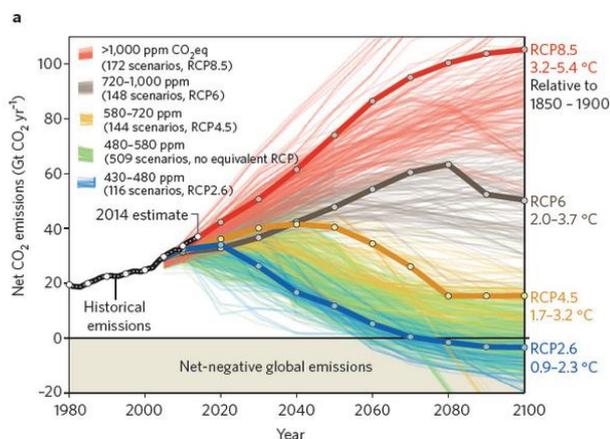


Figura 1. Escenarios de Cambio Climático del Quinto Reporte de Evaluación (AR5) del IPCC: Vías Representativas de Concentraciones (RCP). Fuente, IPCC (2012)

Así, las “amenazas climáticas” (o peligros) son los sucesos o tendencias físicas relacionados con el clima o sus impactos relacionados, susceptibles de ocasionar pérdida de vidas, lesiones u otros impactos a la salud, así como daños y pérdidas en propiedades, infraestructuras, medios de subsistencia, prestaciones de servicios, ecosistemas y recursos ambientales y de servicios, trastornos sociales y económicos, o daños ambientales (IPCC, 2014). Las principales amenazas climáticas están asociadas al comportamiento de la precipitación y la temperatura, y por lo general están asociadas a los valores atípicos de estas variables (muy por encima o muy por debajo del rango esperado para ellas). Cuando se hace referencia a estas amenazas debe tenerse la claridad de que se consideran únicamente aquellas en las que el comportamiento meteorológico o climático es el principal factor directo de impacto, y no aquellas que surgen como consecuencia del mismo y que están asociadas a otros factores -como por ejemplo, las inundaciones o los deslaves-. Entre las amenazas que mayor impacto presentan en los diferentes sectores (económicos, sociales, etc.) están las siguientes (PNUD, 2010):

Sequías: Se definen como la ausencia de lluvias durante un periodo prolongado de tiempo que puede ocasionar desequilibrios hidrológicos significativos. Las sequías tienen efectos más intensos si además hay presencia de altas temperaturas durante su ocurrencia (olas de calor).

Lluvias intensas: Son altas cantidades de lluvias (superiores al valor promedio) que se dan en periodos cortos de tiempo. Estas lluvias ocasionan impactos en la agricultura (pérdida de cultivos), la infraestructura (corrimientos de tierra e inundaciones), entre otros.

Olas de calor: Se define como varios días consecutivos (más de cuatro días) con temperaturas máximas muy altas, lo que ocasiona impactos en la agricultura, la salud y en los ecosistemas.

El cambio climático ha sido reconocido como un desafío para el desarrollo de los países y el bienestar de ecosistemas y sociedades. Según el Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés), las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) producen el aumento de la temperatura media a nivel global, lo cual altera el sistema climático y ocasiona impactos como aumento del nivel del mar, cambios en los patrones de la precipitación y mayor intensidad y frecuencia e intensidad de los eventos extremos de origen climático (IPCC, 2014).

Por otro lado, la variabilidad climática es una medida del rango en que los parámetros climáticos, como temperatura

o precipitación, cambian de un año a otro (PACC, 2009). Analizando sucesos del pasado, es evidente que los mayores impactos sufridos por la sociedad se deben a la presencia de eventos extremos, originados en los valores medios de los parámetros climáticos. Sin embargo, también los cambios graduales en dichos patrones tienen un alto potencial de impacto sobre sistemas humanos y naturales, en especial sobre aquellos más sensibles y/o expuestos, por lo que dicho potencial de impacto no debe ser minimizado; por el contrario, debe ser abordado de manera oportuna. De igual manera, se ha evidenciado que la sensibilidad de los sistemas naturales y humanos es más alta ante los eventos extremos.

A continuación, se presenta el análisis climático futuro elaborado para las cuencas hidrográficas de Santiago, Mayo, Puyango y Catamayo. Este análisis se realizó tomando como periodo histórico de referencia el comprendido entre los años 1981 y 2015, y para los escenarios futuros RCP 4.5 y 8.5 el periodo 2011-2040. Estos resultados forman parte del análisis de riesgo climático para las cuencas hidrográficas mencionadas anteriormente, el cual se viene realizando por parte de los autores para el Fondo Regional del Agua – FORAGUA.

MATERIALES Y MÉTODOS

En el año 2017, Ecuador se sumó a la lista de países que ratificaron el Acuerdo de París bajo la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Si bien el país es solo un contribuyente menor de los gases de efecto invernadero a nivel mundial, Ecuador es altamente vulnerable a los impactos del cambio climático debido a su geografía, diversidad de microclimas, dependencia de los glaciares para el suministro de agua y energía hidroeléctrica, así como a causa de su vulnerabilidad frente a los fenómenos periódicos de “El Niño” y “La Niña” (relacionados con el calentamiento o enfriamiento del Pacífico oriental ecuatorial en función del régimen de vientos alisios). Para entender y enfrentar mencionados cambios, se han realizado diversos estudios e investigaciones, a nivel nacional, en los que se ha analizado la tendencia de las principales variables climatológicas (precipitación y temperatura) a partir de datos observados, con el fin de conocer como han venido cambiando tanto el comportamiento de estas variables como los eventos extremos relacionados a las mismas (Armenta, et al., 2016).

Analizando los impactos del clima sobre los diferentes recursos, sectores y poblaciones a nivel nacional, el país ha identificado como una necesidad la de incluir acciones y actividades de adaptación al cambio climático en la planificación sectorial, territorial y local, para permitir el

cumplimiento de los objetivos y actividades de desarrollo planteados en el Plan Nacional de Desarrollo (PND) por el Gobierno nacional. Con la finalidad de cumplir con este mandato, el Ministerio de Ambiente, mediante su Subsecretaría de Cambio Climático, está impulsando la realización de estudios de vulnerabilidad y riesgo climático, con la finalidad de entender los impactos del clima a nivel local y diseñar acciones que den respuestas a la problemática local.

En este contexto, la zona de estudio de la presente investigación abarca partes del territorio de cuatro cuencas hidrográficas: las de Santiago y Mayo, que forman parte de la demarcación hidrográfica de Santiago; y las cuencas hidrográficas Puyango y Catamayo, que forman parte de la demarcación hidrográfica Puyango-Catamayo (SENAGUA, 2018). El área de estudio se ubica en la zona meridional de Ecuador (véase Figura 2), considerando por un lado el territorio de la cuenca del Santiago que pertenece a la provincia de Zamora-Chinchipec; por otro lado, se analiza la cuenca de río Puyango, área que se ubica dentro de la provincia de Loja.

Acorde con los registros hidrológicos del país, el área de estudio presenta problemas en la dotación y abastecimiento de agua; en este contexto, cabe mencionar que el volumen de los recursos hídricos superficiales y subterráneos alcanza apenas un 1%-3% en la demarcación hidrográfica de Puyango-Catamayo, presentando altos niveles de déficit en el balance hídrico anual (SENAGUA, 2017).

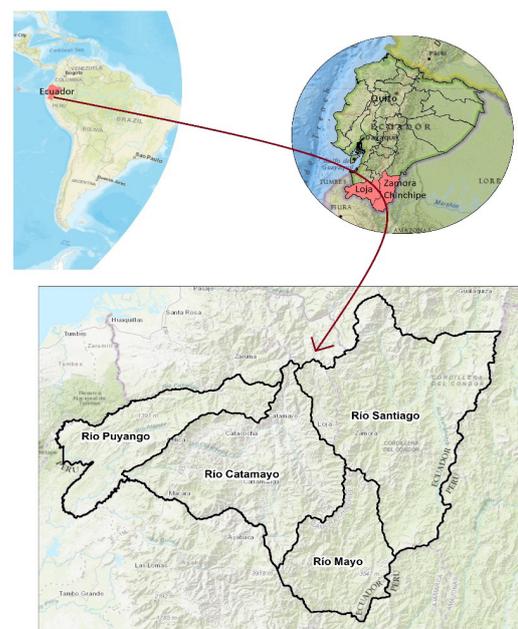


Figura 2. Área de estudio en las cuencas hidrográficas de Puyango, Catamayo, Santiago y Mayo, ubicadas en las provincias de Loja y Zamora-Chinchipec.

Para el análisis climático se definieron tres fases de trabajo: La primera de ellas consistió en la recopilación, análisis y depuración de toda la información climática observada oficial y disponible tanto para clima histórico como para los escenarios de cambio climático. En la segunda fase, se realizó la revisión y selección de los principales índices climáticos que están asociados a las principales amenazas climáticas que mayor impacto han tenido en Ecuador. Finalmente, en la última fase se realizó el cálculo de estos índices y el análisis de las tendencias a fin de establecer y determinar los niveles de amenaza actual y futura.

En la primera fase, con el fin de poder determinar las principales amenazas climáticas que afectan (o pueden afectar) a los sistemas productivos, sociales, ambientales y económicos de las provincias del Ecuador, es necesario conocer cómo es el clima en cada una de las provincias y cuáles han sido las tendencias climáticas y los cambios en la duración, frecuencia e intensidad de los eventos extremos. Para ello, se deben revisar los valores diarios y mensuales de las principales variables climatológicas (precipitación y temperatura), tanto a nivel histórico como bajo distintos escenarios de cambio climático.

Para el análisis del clima actual e histórico, se realizó la revisión de las fuentes de datos que contaran con información disponible para el periodo de referencia 1981-2015. Estas fuentes son: los datos diarios observados de precipitación y temperaturas media, máxima y mínima de estaciones hidrometeorológicas del Instituto Nacional de Hidrología y Meteorología del Ecuador (INAMHI) ubicadas en la zona de estudio, que contengan información suficiente y confiable para el periodo 1981-2015, y los datos diarios de precipitación y temperaturas media, máxima y mínima generadas con reducción de escala dinámica con el modelo WRF (Weather Research and Forecasting) para la Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático del Ecuador (TCN) (Armenta, Villa y Jácome, 2016). En la Figura 3, se muestra la distribución espacial de los pixeles de 10x10 kilómetros de estos datos en la zona de estudio.

En relación al clima futuro, los datos utilizados también corresponden a los generados en la Tercera Comunicación Nacional para los escenarios RCP 4.5 y 8.5 para el periodo futuro 2011-2040. La selección de estos escenarios y este periodo de tiempo obedece principalmente a dos razones: En el caso de los escenarios, se tomaron en cuenta estos dos debido a que el RCP 4.5 es el escenario al que apuntaría el país si la tendencia de la temperatura media se mantuviera hasta finales de siglo (Armenta, Villa y Jácome, 2016) (Figura 4).

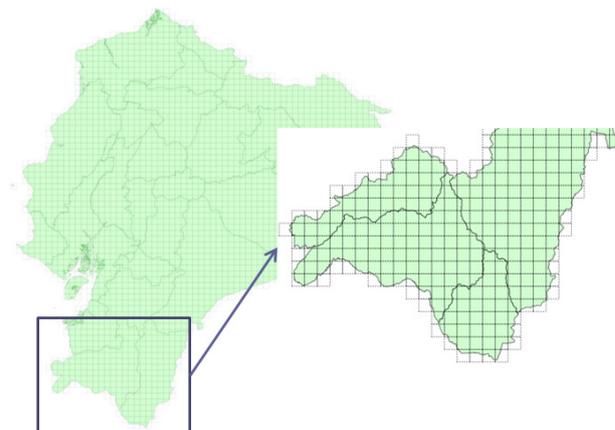


Figura 3. Pixeles seleccionados para la extracción de los datos climáticos generados en la Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático del Ecuador.

Por otra parte, el escenario RCP 8.5, al ser el escenario “pesimista”, se coloca como referente de un posible futuro en el que se dejan de tomar medidas y acciones frente al cambio climático. En cuanto al periodo de tiempo (2011-2040), al tratarse de un trabajo para vulnerabilidad se recomienda trabajar con series para un horizonte de máximo 30 años. Además, el periodo propuesto es utilizado comúnmente para comparaciones internacionales (IDEAM et. al., 2017) y con diferentes estudios de este tipo que se vienen realizando en el país.

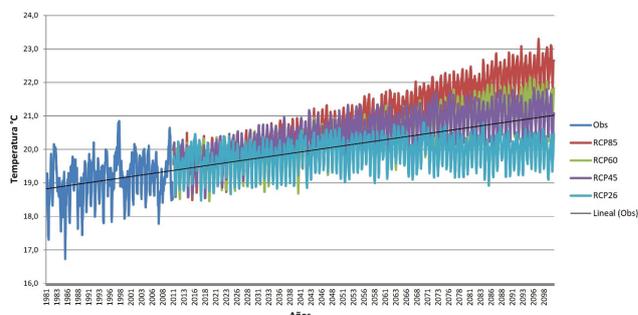


Figura 4. Temperatura media del Ecuador, con base en la información observada de 32 estaciones para el periodo 1981-2010, y proyectada para el periodo 2011-2100 para los 4 escenarios RCP. La línea negra muestra la tendencia de los datos observados. Fuente: (Armenta, Villa y Jácome, 2016).

Una vez definida y revisada la información climática a utilizar, se procedió a la segunda fase, a través de la revisión de las amenazas climáticas que mayor impacto han tenido en el Ecuador. Para ello, se tomó como base la información disponible de los registros de desastres ocurridos en el país, teniendo en cuenta datos de la herramienta DESINVENTAR (disponible en <https://www.desinventar.org/es/>), la cual es un recurso de apoyo basado en

registros de eventos levantados a partir de publicaciones y notas de medios de comunicación y de reportes de diferentes ministerios y entidades (DESINVENTAR, 2017). Los registros disponibles son desde el año 1978 hasta la actualidad; de esta recopilación de información se hizo el filtrado de los eventos, seleccionando únicamente aquellos desastres relacionados con la ocurrencia de eventos climáticos y en la que éstos fueran la causa principal de los mismos.

Con base en los resultados del proceso de revisión de los desastres de DESINVENTAR, en una primera aproximación se encontró que las principales amenazas climáticas en el país corresponden a las asociadas a eventos de “lluvias intensas” y “sequías”. Para las “olas de calor”, pese a que no se encontraron registros significativos de desastres asociados a este tipo de amenazas, y teniendo en cuenta que una de las principales y más notorias variaciones que está ocasionando el cambio climático es la relacionada con el aumento de la temperatura, los índices asociados a ellas (que se describen en la siguiente sección) reflejan que en el futuro bajo los escenarios de cambio climático es muy probable que la afectación por esta amenaza sea importante y genere impactos significativos.

Con las principales amenazas climáticas seleccionadas, el siguiente paso fue la revisión del comportamiento que deben presentar las variables climáticas asociadas a ellas.

En este sentido, desde hace varios años, en el Ecuador se vienen realizando diversos estudios e investigaciones en los que se analiza la tendencia de las principales variables climatológicas -fundamentalmente precipitación y temperatura- a partir de datos observados (Muñoz et. al., 2010; Serrano et. al., 2012; Muñoz, 2013; CIIFEN, 2014), con el fin de conocer cómo han venido cambiando tanto el comportamiento de estas variables como la duración, intensidad y frecuencia de los eventos extremos relacionados a las mismas. Para este tipo de análisis, se utilizan índices climáticos diseñados y propuestos por el ETCCDI (Expert Team on Climate Change Detection and Indices) para la detección de tendencias climáticas y cambios en los eventos extremos (Armenta, 2016), y cuyo cálculo se realiza principalmente mediante la herramienta Climdex (disponible en <https://www.climdex.org/>), diseñada para tal fin (Karl, Nicholls y Ghazi, 1999).

De estos índices, se seleccionaron los más relevantes que estuvieran asociados a cada una de las principales amenazas climáticas (Tabla 1). Asimismo, para complementar el análisis, se adicionó el Índice de Precipitación Estandarizado (SPI), el cual no es parte de los índices elaborados por el ETCCDI, pero se utiliza ampliamente para el análisis de sequías. El SPI se basa en la probabilidad de precipitación para cualquier escala temporal. Teniendo en cuenta la precipitación observada,

la probabilidad de precipitación se transforma en un índice cuyo cálculo se basa en el registro de precipitaciones a largo plazo para un período deseado. Dicho registro a largo plazo se ajusta a una distribución de probabilidades, y a continuación se transforma en una distribución normal de modo que el SPI medio para la localidad y el período deseado sea cero. Los valores positivos de SPI indican que la precipitación es mayor que la mediana, y los valores negativos, que es menor. Dado que el SPI está normalizado, los climas húmedos y secos se pueden representar del mismo modo, por lo que también se puede hacer un seguimiento de los períodos húmedos utilizando el SPI (OMM, 2012).

Tabla 1. Índices seleccionados para la determinación de las amenazas climáticas.

ÍNDICE	DESCRIPCIÓN
CDD (# días/año)	Mayor número de días secos consecutivos en un año.
SPI	Índice de Precipitación Estandarizado.
R95P (# días)	Número de días en un año con lluvia mayor al percentil 95 ¹ para los días húmedos (Prec. > 1,0mm).
TX90p (# días/año)	Mayor número de días consecutivos al año con temperatura máxima mayor al percentil 90 ¹ .
TMED-mean (°C)	Valor promedio de la temperatura media.

Finalmente, el nivel de amenaza de cada índice se determina a través de un proceso denominado Normalización. Este proceso básicamente consiste en otorgar un número a cada nivel de amenaza según el comportamiento que presenten las tendencias de cada uno de los índices asociados a las mismas. Aquí, la categorización toma seis valores del 1 a 6, donde “1” indica que la amenaza o el índice climático tiene una probabilidad de ocurrencia prácticamente nula (es decir, se presenta una condición contraria al comportamiento que es considerado como amenaza, o como tal la amenaza no ocurre); “2” significa que los valores de los índices son muy bajos y “6” que estos valores son muy altos, y por lo tanto la amenaza climática es muy alta según esta escala.

Como cada índice posee un comportamiento y unidades diferentes, estos deben categorizarse según su tendencia individual o su aspecto, para determinar el nivel de amenaza. En el caso de los índices asociados a la tendencia de aumento del número de días, por ejemplo, se determina el nivel de amenaza cuando se incrementa en un día la cantidad total de días que se presenta el evento asociado a cada índice en un determinado tiempo, en comparación con la tendencia histórica y teniendo en cuenta la cantidad de años del periodo futuro (30 años en este caso). Con base en estos criterios (y los respectivos para los demás índices), se establecen los rangos para los cuales cada índice tiene un nivel de amenaza (Tabla 2) y se hace la normalización de ellos.

¹ Cuando se hace referencia a un percentil, lo que se indica es el porcentaje de casos en los cuales se encuentran los datos que se están analizando. Al hablar del percentil 95 para precipitación, por ejemplo, se está indicando que los registros diarios se encuentran entre el valor diario bajo el cual están el 95% de los registros y el valor máximo de todos ellos. Por lo tanto, cuando se muestra que un índice está asociado a superar determinado percentil, éste se refiere a los casos extremos.

Tabla 2. Categorías de normalización de los índices asociados a las amenazas climáticas.

Índices	Rangos	Interpretación Rangos (Tendencia)	Categoría Normalización
Relacionados con el cambio en el número de días de ocurrencia de eventos climáticos (CDD, R95p, Tx90p)	$x = 0$	Reducción del número de días o no hay cambios de esta cantidad	1 (NULA)
	$0 < x \leq 0,1$	Aumento de 1 día entre 10 y más años (Máximo 3 días más en 30 años)	2 (MUJ BAJA)
	$0,1 < x \leq 0,2$	Aumento de 1 día entre 5 y 10 años (Entre 3 y 6 días más en 30 años)	3 (BAJA)
	$0,2 < x \leq 0,5$	Aumento de 1 día entre 2 y 5 años (Entre 6 y 15 días más en 30 años)	4 (MODERADA)
	$0,5 < x \leq 1$	Aumento de 1 día entre 1 y 2 años (Entre 15 y 30 días más en 30 años)	5 (ALTA)
	$x > 1$	Aumento de 1 o más días en 1 año (Más de 30 días en 30 años)	6 (MUJ ALTA)
Relacionado con el cambio de la temperatura media (TMEDmean)	$x \leq 0$	Reducción o ausencia de cambio en la temperatura media	1 (NULA)
	$0 < x \leq 0,1$	Aumento de 1°C en 100 o más años (La temperatura media será 0,1°C más alta dentro de 30 años)	2 (MUJ BAJA)
	$0,1 < x \leq 0,2$	Aumento de 1°C entre 50 y 100 años (La temperatura media será 0,3°C más alta dentro de 30 años)	3 (BAJA)
	$0,2 < x \leq 0,5$	Aumento de 1°C entre 30 y 50 años (La temperatura media será 0,6°C más alta dentro de 30 años)	4 (MODERADA)
	$0,5 < x \leq 1$	Aumento de 1°C entre 20 y 30 años (La temperatura media será 1°C más alta dentro de 30 años)	5 (ALTA)
	$x > 1$	Aumento de 1°C cada 20 o menos años (La temperatura media será mínimo 1,5°C más alta dentro de 30 años)	6 (MUJ ALTA)
Relacionado al comportamiento particular del índice (SPI)	$x > 0,2$	Húmedo	1 (NULA)
	$-0,2 < x \leq 0,2$	Normal	2 (MUJ BAJA)
	$-0,5 < x \leq -0,2$	Levemente Seco	3 (BAJA)
	$-0,8 < x \leq -0,5$	Moderadamente Seco	4 (MODERADA)
	$-1,2 < x \leq -0,8$	Severamente Seco	5 (ALTA)
	$x < -1,2$	Extremadamente Seco	6 (MUJ ALTA)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se presentan los promedios mensuales de la precipitación y la temperatura media en las cuencas hidrográficas: Santiago, Mayo, Puyango y Catamayo, con base en los datos de los píxeles con datos generados en la Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático del Ecuador que la contienen (Figura 3).

Precipitación

En la cuenca de los ríos Santiago, Mayo, Puyango y Catamayo, la temporada de mayores precipitaciones se presenta entre enero y abril, mientras que durante el resto del año se presentan las menores precipitaciones, siendo la temporada más seca entre junio y agosto (Figura 5). El rango de variabilidad de la precipitación ha sido alto,

especialmente en los meses de la temporada lluviosa. Esto se debe principalmente a la influencia de los fenómenos de El Niño – La Niña, los cuales ocasionan años con mayores o menores cantidades mensuales de precipitación con relación al promedio del periodo 1981-2015.

Los escenarios de cambio climático (Figura 6) muestran en general incrementos de la precipitación, siendo más significativos en el primer cuatrimestre del año y en noviembre y diciembre. También se aprecia que habría una mayor frecuencia e intensidad de los fenómenos de variabilidad climática, que ocasionarían años con meses de lluvias muy intensas (superiores en más del 100% a la climatología actual y futura), siendo los más fuertes bajo el RCP 8.5.

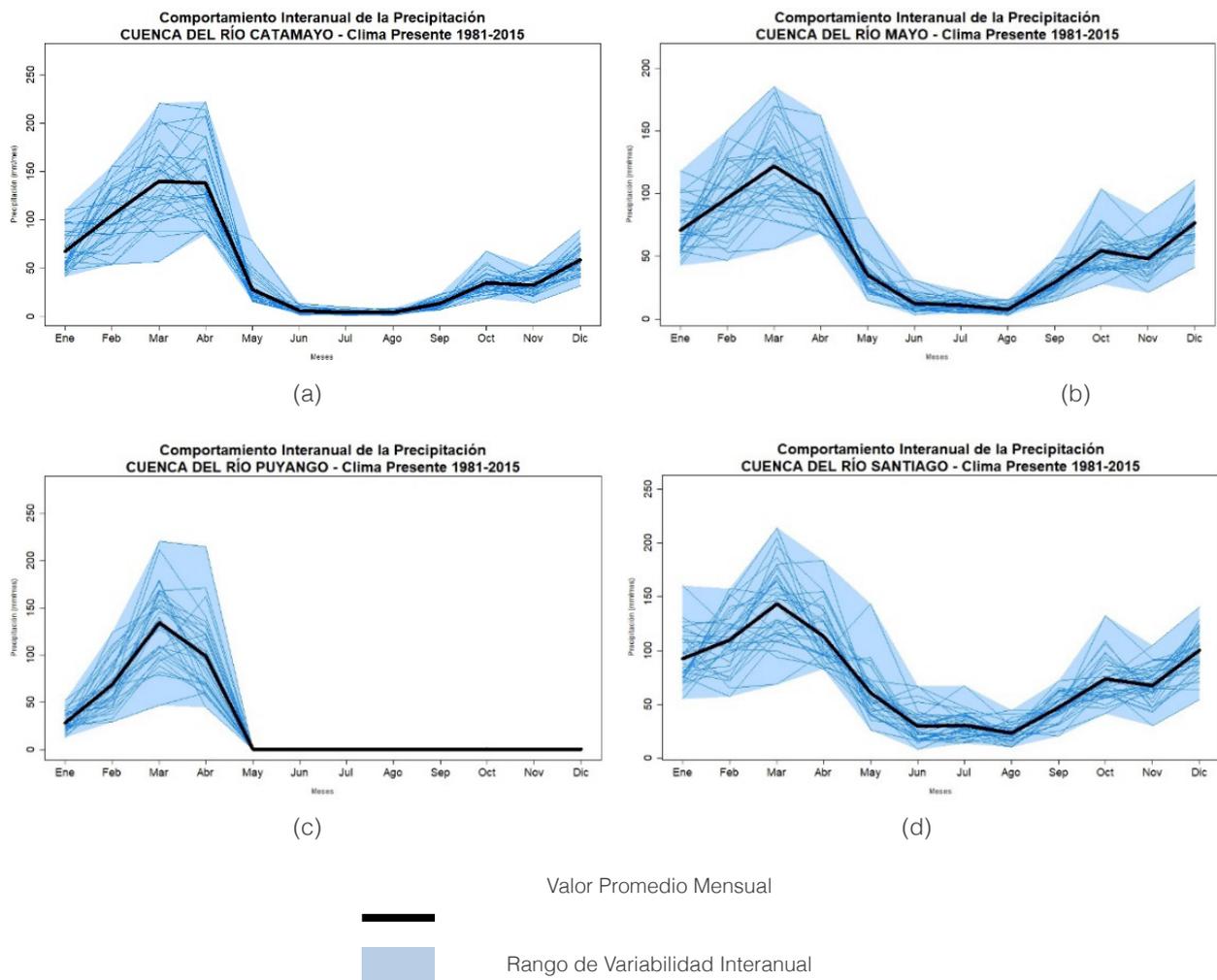


Figura 5. Comportamiento interanual histórico de la precipitación en el periodo 1981-2015, para los ríos Catamayo (a), Mayo (b), Puyango (c) y Santiago (d).

Temperatura Media

En el clima histórico, la temperatura media presenta diversas variables: para el río Catamayo, valores entre 13 y 17°C, con los mayores valores en el periodo abril-mayo y noviembre-diciembre, y los menores en julio y agosto; para el río Mayo, valores entre 19 y 23°C, con los mayores valores en noviembre y diciembre, y los menores en julio y agosto; para el río Puyango, valores entre 21 y 26°C, con los mayores valores entre enero y abril y los menores en julio y agosto; y para el río Santiago, valores entre 18 y 22°C, con los mayores valores entre octubre y noviembre y los menores en julio y agosto (Figura 7).

Al igual que con la precipitación, se observan años donde han ocurrido temperaturas más altas o más bajas en comparación con el periodo de referencia, debido principalmente a la influencia de los fenómenos El Niño y La Niña. Sin embargo, cada vez son más los años con temperaturas superiores al promedio, lo cual es una clara señal del calentamiento local/global que se ha venido observando.

En cuanto a los escenarios (Figura 8), se mantiene el comportamiento a lo largo del año, los valores de la temperatura serán mayores, entre 0,8 y 1,1°C bajo el RCP 4.5 y entre 0,9 y 1,3°C bajo el RCP 8.5. Se aprecia además que el rango de variabilidad que tendría la temperatura media en el periodo futuro 2011-2040 presentaría casi todos los valores por encima del promedio actual, lo que nos indica que posiblemente en el futuro, cuando haya influencia de fenómenos de variabilidad climática que ocasionen descensos en la temperatura, los valores de ella serían casi iguales a los valores medios que se tienen en la actualidad.

Tendencias de los índices climáticos

Mayor número de días secos consecutivos al año (Índice CDD): En el clima presente sólo una parte de las cuencas hidrográficas Catamayo y Puyango presentan una tendencia al aumento de la cantidad de días secos consecutivos, siendo la más alta en la zona occidental de la cuenca del río Puyango.

Bajo los escenarios de cambio climático, esta tendencia se incrementaría en gran parte de las 4 cuencas hidrográficas, presentándose los valores más altos en las cuencas de los ríos Catamayo y Mayo, con incrementos de entre 15 y 30 días secos consecutivos más hacia el año 2040 (Figura 9).

Índice de Precipitación Estandarizado (SPI): Este índice muestra, en el clima presente, que la tendencia a la

extensión de las sequías es muy baja (es decir que la transición de la temporada de lluvias a la temporada seca se ha presentado en forma normal). En los dos escenarios de cambio climático, bajo el RCP 4.5 se mantendría este comportamiento, mientras que en el RCP 8.5 habría más precipitaciones, y por lo tanto una menor extensión de las temporadas secas a nivel anual (Figura 10).

Número de días con precipitación superior al percentil 95 (Índice R95p): En el clima presente, la mayor parte de las cuencas hidrográficas presentan una tendencia baja o muy baja al aumento de los días con eventos extremos (de un día cada 5 o más años). Bajo los escenarios de cambio climático aumentaría la cantidad de días con lluvias extremas. En el escenario RCP 4.5 aumentarían en un día cada 5 y 10 años en casi toda la cuenca, y solamente en la cuenca del río Santiago habría incrementos mayores (de 1 día entre 2 y 5 años). Bajo el escenario RCP 8.5, la tendencia sería de aumento de 1 día cada 2 a 5 años en la mayor parte de las cuencas hidrográficas. Este comportamiento se debería a que los escenarios indican un aumento de la precipitación en la zona, y este incremento se ve reflejado por ende en el aumento de los eventos extremos (Figura 11).

Mayor número de días consecutivos al año con temperaturas máximas superiores al percentil 90 (Índice TX90p): La mayor parte de la zona presenta, en el clima actual, una tendencia baja o muy baja al aumento de la cantidad de días consecutivos con temperaturas máximas altas (superiores al percentil 90), con valores de aumento de 1 día cada 5 o más años. Únicamente en el sur de la cuenca del río Mayo y en el centro de la del río Puyango se presentan tendencias moderadas (con aumentos de 1 día cada 2 a 5 años). Bajo los escenarios de cambio climático se incrementaría significativamente la cantidad de días con temperaturas altas. Bajo el RCP 4.5 el incremento sería de un día cada 2 a 5 años en todas las cuencas hidrográficas, y más alto (aumento de 1 día entre 1 y 2 años) en el occidente de las cuencas de los ríos Catamayo y Puyango y en algunas zonas pequeñas de las cuencas del Mayo y del Santiago.

Por otra parte, el RCP 8.5 ya presenta un área mayor con el aumento más alto (de un día entre 1 y 5 años), siendo las cuencas de los ríos Santiago y Mayo las que mayores incrementos presentarían. Este comportamiento se debe principalmente al aumento que muestra la temperatura tanto en el clima actual como bajo los escenarios de cambio climático (Figura 12).

Valor promedio de la Temperatura Media (Índice TMEDmean): El aumento de la temperatura media al año presenta, en el clima actual, una tendencia significativa al aumento en todas las cuencas, con una temperatura de 0,3 a 0,6°C más alta en 2015 en comparación con el año 1981. En los escenarios de cambio climático, bajo el RCP 4.5 esta tendencia se mantendría similar a la de clima presente, cambiando únicamente en la cuenca del río Santiago, donde se daría una leve disminución de la

tasa de incremento de la temperatura. Bajo el RCP 8.5, la tendencia de aumento de la temperatura media sería moderada, es decir, la temperatura sería aproximadamente 0,6°C más alta en el año 2040 en comparación con el clima actual (Figura 13).

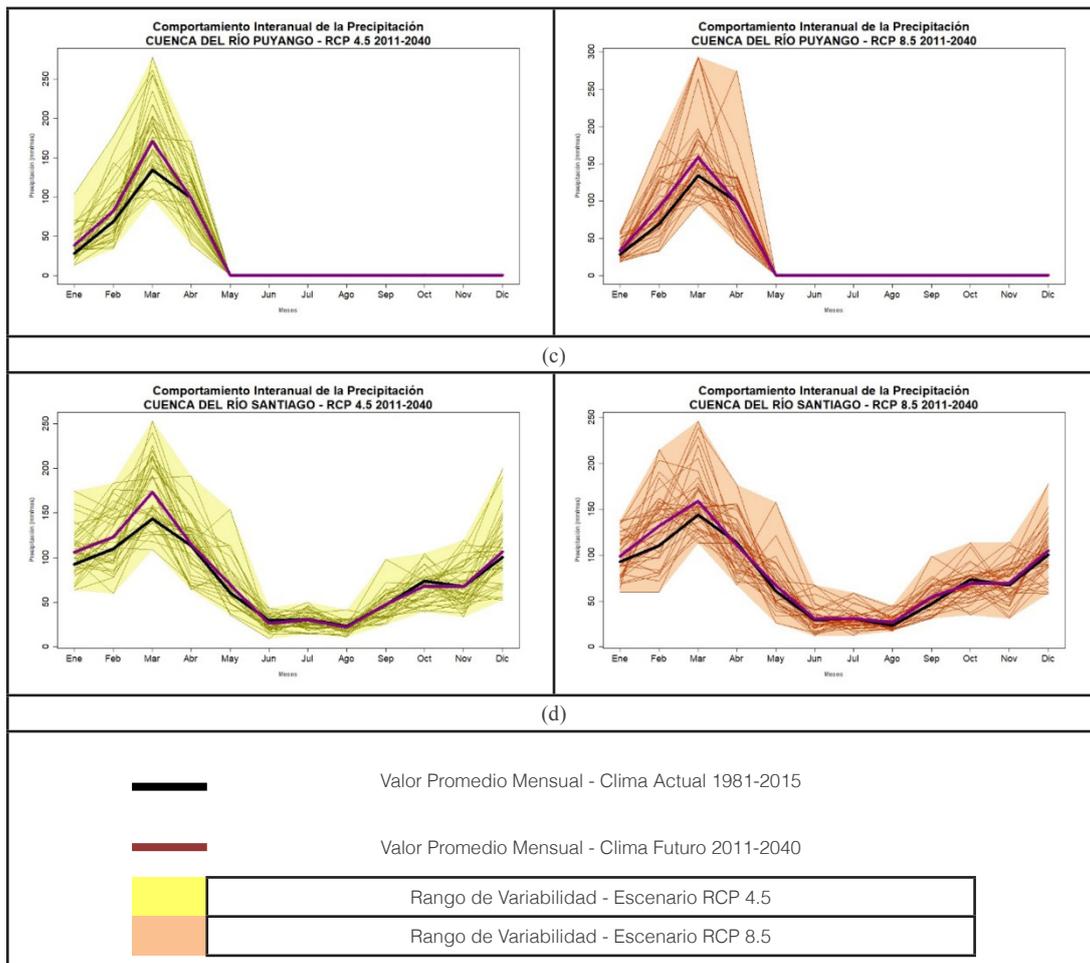


Figura 6. Comportamiento interanual futuro de la precipitación en el periodo 2011-2040, bajo los escenarios RCP 4.5 (izquierda) y RCP 8.5 (derecha), para los ríos Catamayo (a), Mayo (b), Puyango (c) y Santiago (d).

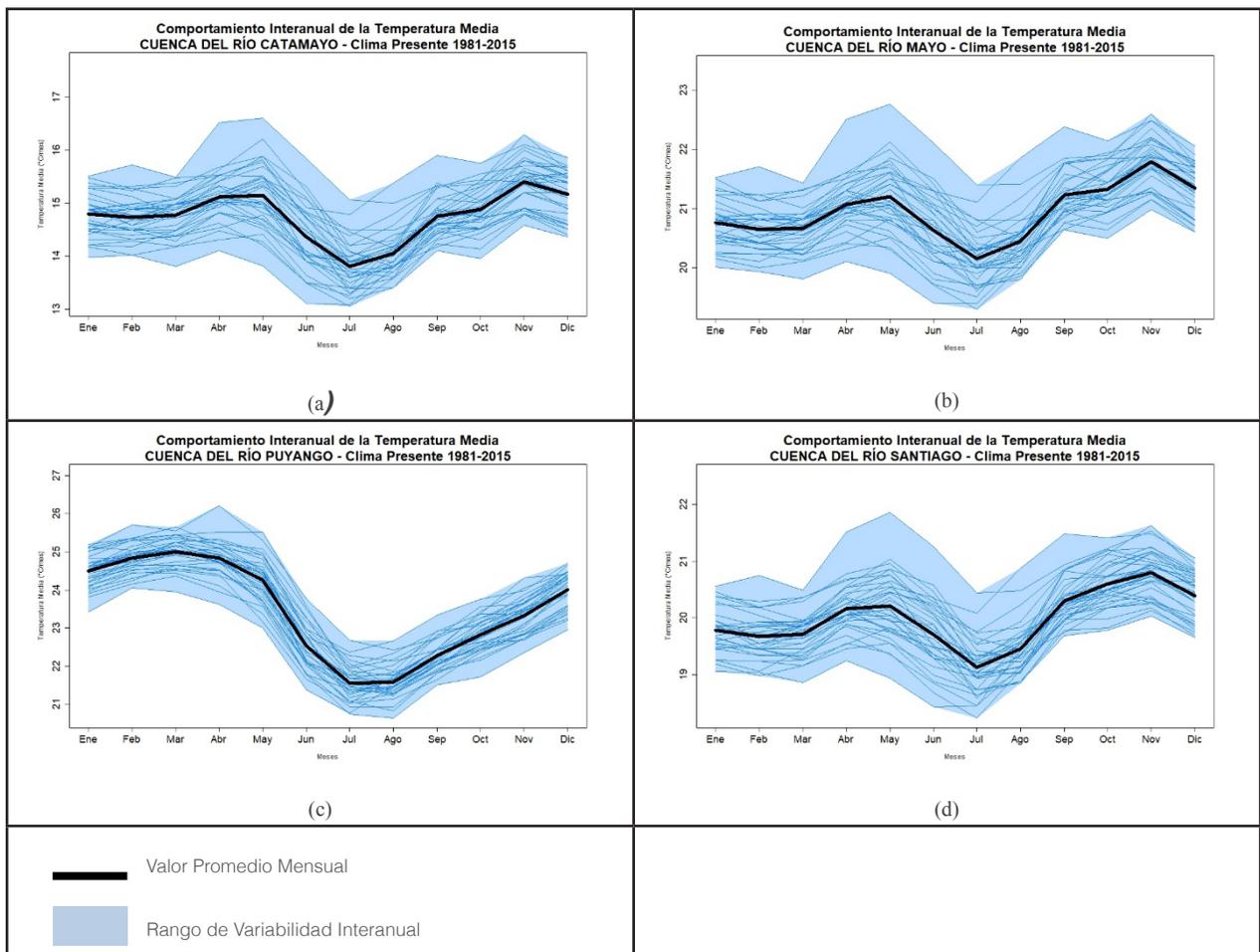


Figura 7. Comportamiento interanual histórico de la temperatura media en el periodo 1981-2015, para los ríos Catamayo (a), Mayo (b), Puyango (c) y Santiago (d).

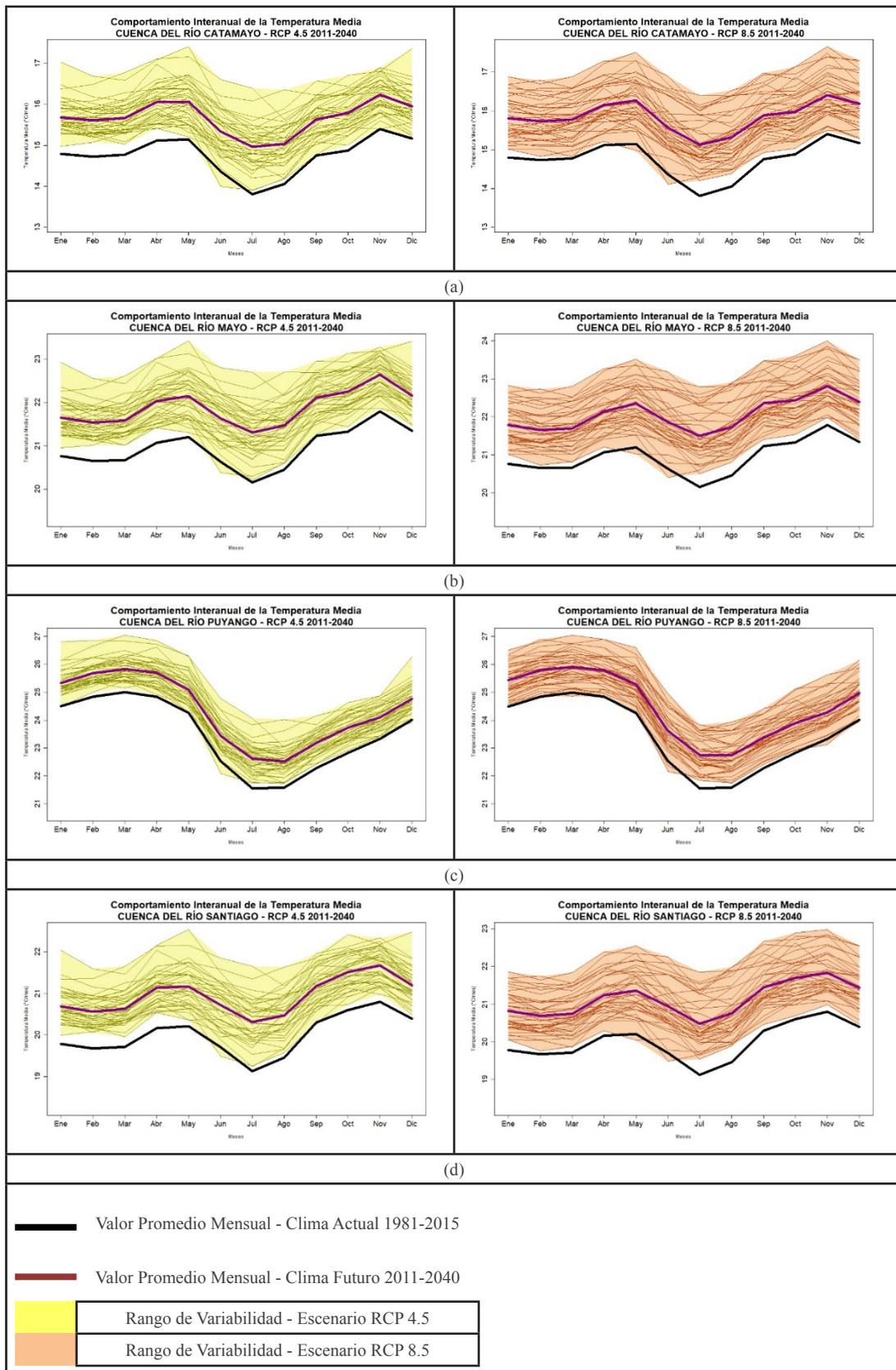


Figura 8. Comportamiento interanual futuro de la temperatura media en el periodo 2011-2040, bajo los escenarios RCP 4.5 (izquierda) y RCP 8.5 (derecha), para los ríos Catamayo (a), Mayo (b), Puyango (c) y Santiago (d).

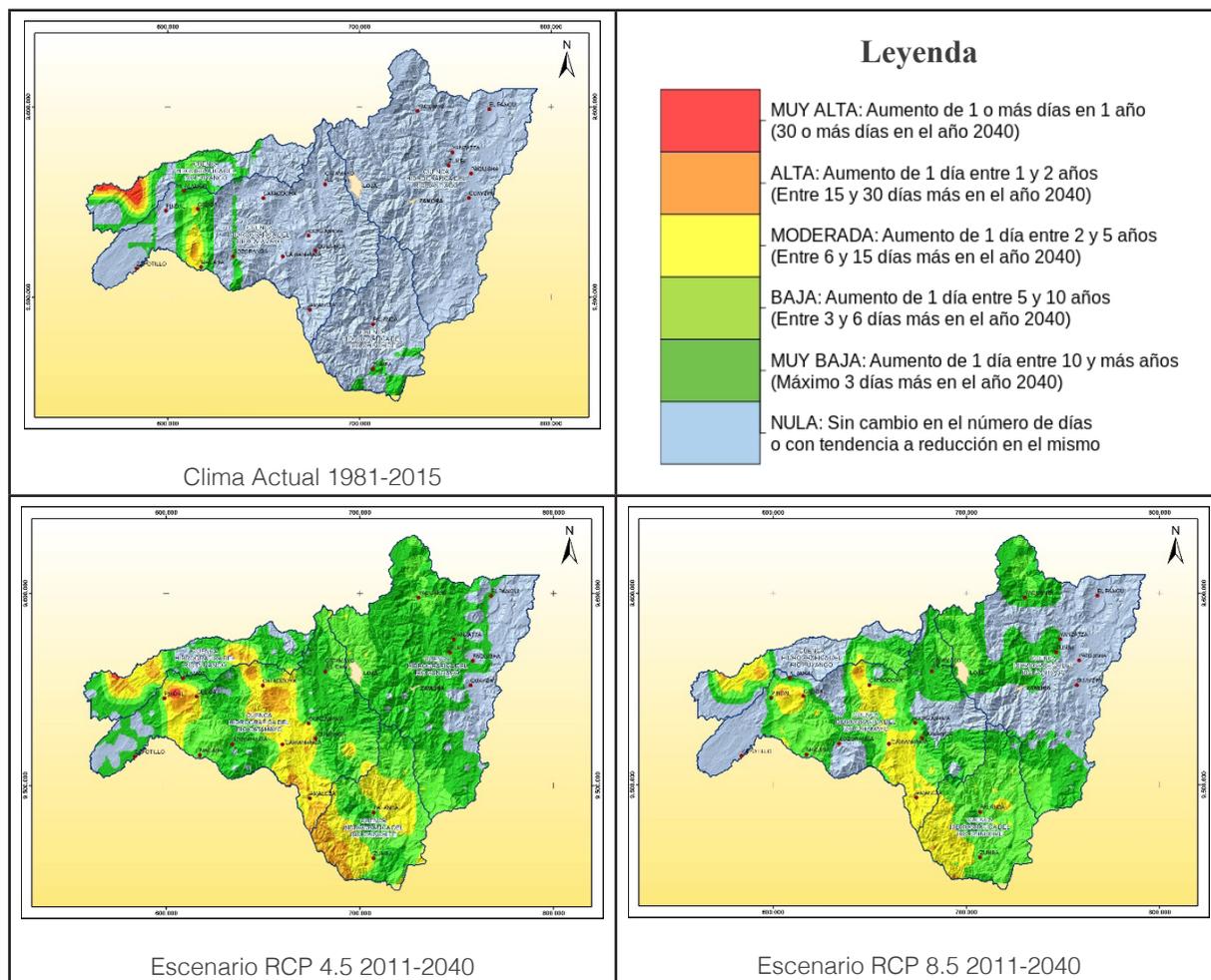


Figura 9. Tendencias anuales (actual y futura bajo los escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5) del índice CDD en las cuencas hidrográficas: Catamayo, Mayo, Puyango y Santiago.

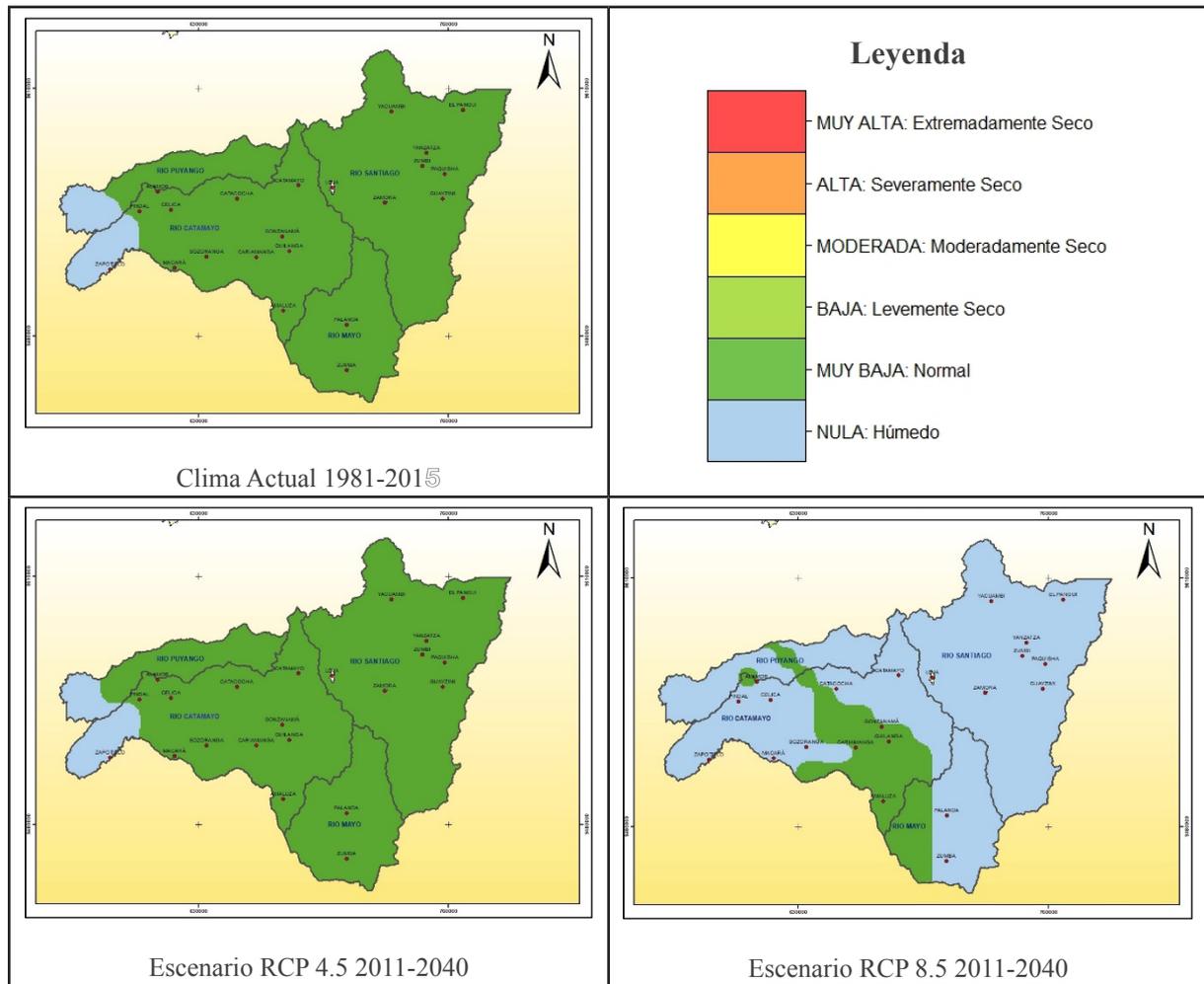


Figura 10. Tendencias anuales (actual y futura bajo los escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5) del índice SPI en las cuencas hidrográficas: Catamayo, Mayo, Puyango y Santiago.

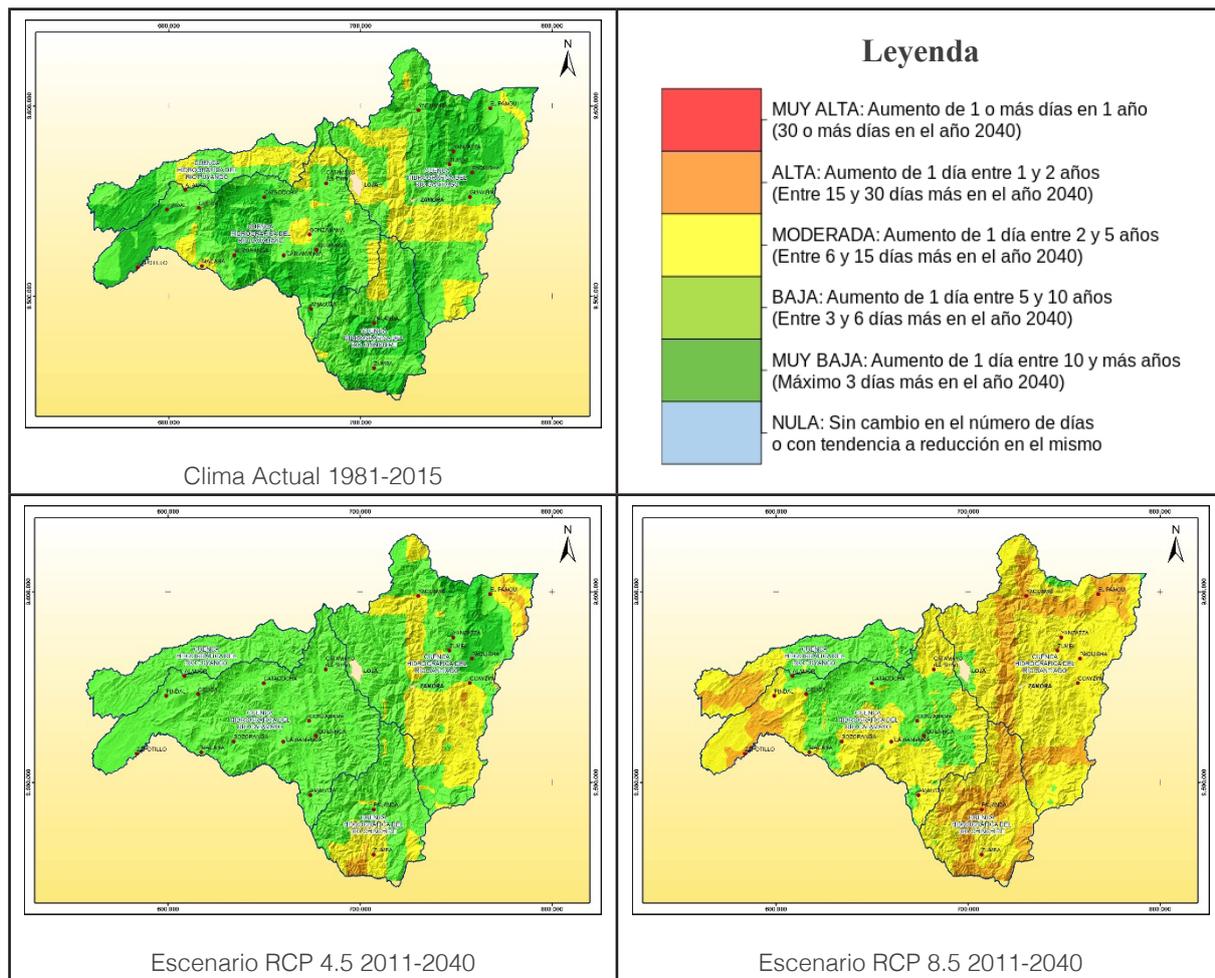


Figura 11. Tendencias anuales (actual y futura bajo los escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5) del índice R95p en las cuencas hidrográficas: Catamayo, Mayo, Puyango y Santiago.

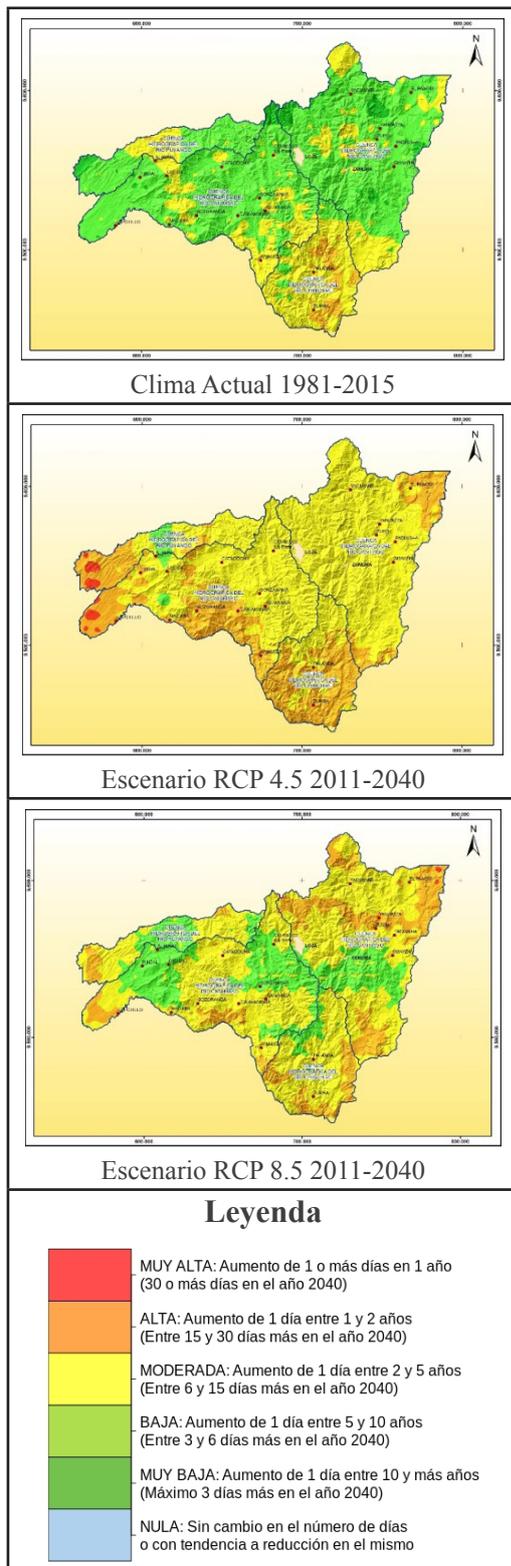


Figura 12. Tendencias anuales (actual y futura bajo los escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5) del índice TX95p en las cuencas hidrográficas: Catamayo, Mayo, Puyango y Santiago.

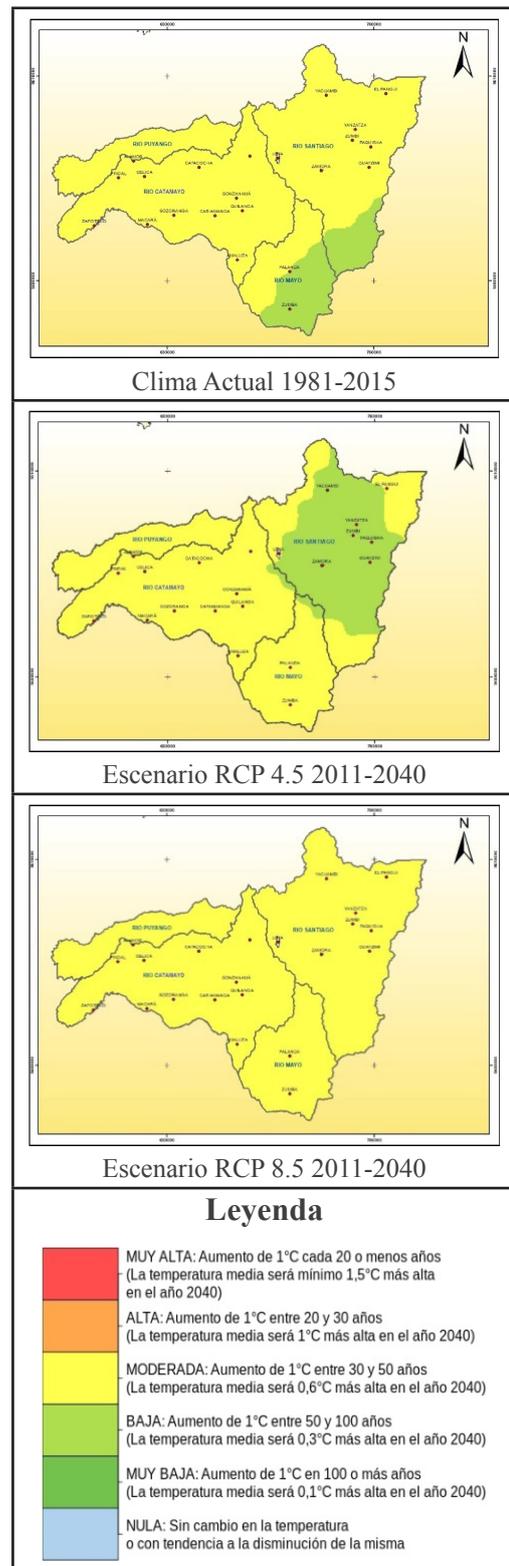


Figura 13. Tendencias anuales (actual y futura bajo los escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5) del índice TMEDmean en las cuencas hidrográficas: Catamayo, Mayo, Puyango y Santiago.

CONCLUSIONES

Los escenarios de cambio climático para el 2040 muestran que la precipitación se incrementaría de forma significativa en la temporada de lluvias, con aumentos de más del 10% en comparación con el comportamiento actual. Asimismo, los escenarios muestran una “ampliación” de la temporada de lluvias, la cual iniciaría antes (en diciembre) y tendría sus máximos valores en marzo.

En cuanto a los índices asociados a la precipitación, los días con lluvias extremas se incrementarían en todo el año, siendo de enero a mayo los meses que presentarían un mayor aumento del número de días con estos eventos en la mayor parte de la zona de estudio, mientras que la mayor cantidad de días secos consecutivos presentaría incrementos leves, presentándose los más altos en los meses de la temporada seca (de agosto a octubre). Finalmente, el índice SPI muestra que las sequías serían más fuertes en los meses de la temporada seca (de junio a septiembre).

Para los índices asociados a la temperatura, a nivel mensual la temperatura media se incrementaría en toda la zona, siendo de mayo a agosto los meses donde mayores aumentos se presentarían (en más de 1°C). Por otra parte, la cantidad de días con temperaturas máximas muy altas

se incrementarían en todo el año, siendo de marzo a mayo y julio los meses con mayor aumento de esta cantidad de estos días.

Las tendencias de los índices climáticos en la zona de estudio muestran la importancia de tomar acciones concretas y en el menor tiempo posible para reducir el impacto del cambio climático en las cuencas hidrográficas, y sobre todo en las comunidades que viven en ella.

Al ver que se incrementarían los eventos extremos de lluvia, y que la temperatura cada vez será mayor, es necesario tomar acciones que permitan la preparación adecuada de las comunidades ante el “nuevo clima” que se está presentado actualmente así como el que en el futuro cercano se podría presentar.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Armenta, G. (2016). Análisis de Tendencias Climáticas y Eventos Climáticos Extremos para Ecuador. En Ministerio del Ambiente del Ecuador (MAE) y Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático del Ecuador. Quito, Ecuador.
- Armenta, G., Dorado, J., Rodríguez, A., Ruiz, J. F. (2015). Escenarios de Cambio Climático para Precipitación y Temperatura en Colombia - Estudio Técnico Completo. En Instituto de Meteorología, Hidrología y Estudios Ambientales (IDEAM), Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo Colombia (PNUD), Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), Departamento Nacional de Planeación (DNP) y Cancillería de Colombia, Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático para Colombia. Bogotá, Colombia. Obtenido de http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/022963/escenarios_cambioclimaticodepartamental/Estudio_tecnico_completo.pdf CIIFEN. (2014). Metodología para la Estimación de Vulnerabilidad en Ecuador, Perú y Bolivia. Información de cambio climático y biodiversidad para el fomento de políticas públicas de conservación y adaptación en la región de los Andes Tropicales. Guayaquil, Ecuador.
- DESINVENTAR. (2017). Guía metodológica del Sistema de Inventario de Desastres recurso en línea. Obtenido de <http://www.desinventar.org/es/metodologia>
- Instituto de Meteorología, Hidrología y Estudios Ambientales (IDEAM), Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo Colombia (PNUD), Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), Departamento Nacional de Planeación (DNP) y Cancillería de Colombia. (2017). Análisis de Vulnerabilidad y Riesgo por Cambio Climático en Colombia. En Instituto de Meteorología, Hidrología y Estudios Ambientales (IDEAM), Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo Colombia (PNUD), Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), Departamento Nacional de Planeación (DNP) y Cancillería de Colombia, Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático para Colombia. Bogotá.
- International Panel on Climate Change (IPCC). (2012). Resumen para responsables de políticas en el Informe especial sobre la gestión de los riesgos de fenómenos meteorológicos extremos y desastres para mejorar la adaptación al cambio climático. En International Panel on Climate Change (IPCC), Climate Change 2014: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Cambridge, United Kingdom and New York, USA.: Cambridge University Press. Obtenido de https://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/srex/IPCC_SREX_ES_web.pdf
- International Panel on Climate Change (IPCC). (2014). Anexo II: Glosario. En I. P. IPCC, Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (págs. 127-141). Ginebra, Suiza.

- Obtenido de https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/AR5_SYR_glossary_ES.pdf
- International Panel on Climate Change (IPCC). (2014). Technical Summary. En International Panel on Climate Change (IPCC). Climate Change 2014: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Cambridge, United Kingdom and New York, USA.: Cambridge University Press.
- International Panel on Climate Change (IPCC) – Data Distribution Centre (DDC). (2013). Definition of Terms Used Within the Pages DDC. Obtenido de <http://www.ipcc-data.org/guidelines/pages/definitions.html>
- Karl, T., Nicholls, N., Ghazi, A. (1999). CLIVAR/GCOS/WMO workshop on indices and indicators for climate extremes. Workshop summary. Climatic Change, 42.
- Armenta, G., Villa, J., Jácome, P. (2016). Proyecciones Climáticas de Precipitación y Temperatura para Ecuador, Bajo Distintos Escenarios de Cambio Climático. En Ministerio del Ambiente del Ecuador (MAE) y Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático del Ecuador. Quito.
- Muñoz, Á. (2013). Análisis estadístico con Climdex de índices climáticos para las provincias de Pichincha y Napo. Asistencia Técnica para la Generación de Escenarios de Cambio Climático para la Segunda Comunicación Nacional de Cambio Climático del Ecuador.
- Muñoz, Á., Recalde, C., Cadena, J., Núñez, A., Díaz, J. (2010). Resultados del análisis estadístico con FCLIMDEX para Ecuador. Informe dentro del Proyecto PRAA.
- Organización Meteorológica Mundial (OMM). (2012). Índice normalizado de precipitación: Guía del usuario (Vols. OMM-No. 1090). En O. M. Mundial, OMM-No. 1090.
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). (2009). Estudio de vulnerabilidad actual a los riesgos climáticos en el sector de los recursos hídricos en las cuencas de los Ríos Paute, Jubones, Catamayo, Chone, Portoviejo y Babahoyo. ISBN: 978-9978-92-805-9. Quito.
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). (2010). Gestión del Riesgo Climático. New York. Obtenido de <https://www.undp.org/content/dam/undp/library/crisis%20prevention/disaster/Reduccion-Gestion%20del%20Riesgo%20Climatico.pdf>
- Podestá, G., Skansi, M. d., Herrera, N., Veiga, H. (2016). Descripción de índices para el monitoreo de sequía meteorológica implementados por el Centro Regional del Clima para el Sur de América del Sur. Reporte Técnico CRC-SAS-2015-001.
- Secretaría Nacional del Agua del Ecuador (SENAGUA). (2017). Boletín de la Estadística Sectorial del Agua 2017. Secretaria del Agua. Obtenido de Secretaria del Agua: https://www.agua.gob.ec/wp-content/uploads/2018/02/Boletin-Estadistico-ARCA-SENAGUA_08feb.compressed-2.pdf
- Secretaría Nacional del Agua del Ecuador (SENAGUA). (2018). Informe de Cuencas Hidrográficas Santiago, Catamayo, Puyango y Chinchipe. Secretaria del Agua, Quito.
- Serrano, S., Zuleta, D., Moscoso, V., Jácome, P., Palacios, E., Villacís, M. (2012). Análisis estadístico de datos meteorológicos mensuales y diarios para la determinación de variabilidad climática y cambio climático en el Distrito Metropolitano de Quito. La Granja, 16, 23-47.

CARTOGRAFÍA APLICADA AL CONTROL AMBIENTAL EN DERRAMES DE HIDROCARBUROS

¹Pablo Danilo Ordóñez Gutiérrez

¹EP PETROECUADOR

Autor para correspondencia: pablotro25@gmail.com

Recibido: 2019/08/20

Aprobado: 2019/11/30

DOI: <https://doi.org/10.26621/XV21.2019.12.A02.PUCESI.2550.6684>

RESUMEN

Este caso de estudio se basa en un derrame de petróleo originado por un deslizamiento de tierra del año 2008 que llevó a la fractura del oleoducto del Sistema de Oleoductos Trans Ecuatoriano (SOTE) y el poliducto Shushufindi-Quito, ambos ubicados en la región noreste de Ecuador, en la parroquia Gonzalo Díaz, del cantón El Chaco, en la provincia de Napo. Los datos de tres campañas diferentes de muestreo de suelo (2008, 2009 y 2010) se organizaron utilizando geodatabases que condujeron a un análisis de auto-correlación del parámetro de hidrocarburos totales de petróleo (TPH, por sus siglas en inglés) y sus mapas de contaminación resultantes. Solo la información de la campaña 2009 fue interpolada considerando una variografía según la distribución de las muestras de ese año. El resultado de este análisis es la mejora en la forma en que se tuvieron que tomar nuevas muestras de suelo para el proceso de limpieza y remediación, con el resultado de la recuperación de un total de 10.5 hectáreas afectadas directamente, donde se realizaron procesos de inoculación de bacterias que degradan los hidrocarburos en ecosistemas sensibles de la región amazónica del Ecuador.

Palabras clave: derrame, TPH, auto correlación, variografía, bacterias, remediación

ABSTRACT

This study case is based on an oil spill originated by a landslide in 2008 that led to the pipeline rupture of the Trans Ecuadorian Pipeline System (SOTE) and the Shushufindi-Quito Multiproduct Pipeline, both located in the northeast region of Ecuador, in Gonzalo Diaz Parish, El Chaco Canton, in the province of Napo. The data of the three different soil sampling campaigns (2008-2009 and 2010) was organized using geodatabases which resulted in an auto-correlation analysis of the Total Petroleum Hydrocarbons (TPH) parameter and their resulting pollutions maps. Only the information from the 2009 campaign was interpolated considering a variography according to the samples distribution of that year. The result of this analysis is the improving in the way that new soil samples had to be taken for the cleaning and restoring process, resulting in the recovering of a total of 10.5 hectares affected directly, where bacteria inoculation processes, which degrade the fragile hydrocarbon ecosystems of the Ecuadorian Amazon region, were held.

Keywords: oil spill, TPH, auto-correlation, variography, bacteria, remediation

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la cartografía digital a través del uso de los sistemas de información geográfica (SIG) posee una gran potencialidad de planificación sobre procesos de remediación de suelo invaluable.

Del mismo modo conforme avanzan los algoritmos de visualización de información resulta cada vez más evidente la necesidad de obtener mapas de derrames de hidrocarburos sobre esta herramienta (Ivanov, 2008); es así que trabajos realizados demuestran que la estadística espacial enfocada hacia la zonificación de mayor concentración de determinado contaminante permite mejorar tareas de campo para la optimización de toma de muestras (Hengl, 2009).

En ese sentido, la auto correlación de puntos de monitoreo para verificación de procesos de remediación ambiental visualizada sobre sistemas de información geográfica permitió determinar la mejor locación de bacterias con capacidad degradadora de hidrocarburos a fin de acelerar y mejorar condiciones iniciales de suelo contaminado en líneas del tiempo (Narváez-Flórez, 2008), evidenciado para el caso del derrame de petróleo del Sistema Oleoducto Trans ecuatoriano (SOTE) PK 101+450 valores de TPH en el año 2008 de 69337 mg/kg disminuidos a valores de 70 mg/kg para el año 2010 (dos años y seis meses después).

En el presente trabajo, se busca demostrar y promover las bondades que desempeña el uso de los SIG como herramienta para el control ambiental de los procesos de remediación de suelos.

A partir de la comparación de tres campañas de muestreo en zonas pantanosas y de orillas de esteros ubicadas sobre terrazas aluviales del Río Quijos de los años 2008, 2009 y 2010, mediante el análisis de los datos de correlación de los valores del parámetro TPH para suelo, conforme a la distancia de distribución sobre cada georreferenciación de muestras en zonas con contaminación de hidrocarburos.

Estos valores obtenidos de los análisis de laboratorio se comparan con el Reglamento Ambiental para Operaciones Hidrocarburíferas del Ecuador (RAOHE), cuyo umbral de registro fue el de ecosistemas sensibles (TPH < 1000 mg/kg se considera bajo la norma establecida), en suelo, verificándose sobre la comparación de la distribución de muestras que el año 2009 obtuvo mayor correlación como base del mapeo para control ambiental de un derrame de hidrocarburos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de Estudio

La locación del estudio es el punto de control PK 101+450 del trazado del SOTE, ubicado en la cuenca del río Quijos, sector Piedra Fina, Parroquia Gonzalo Díaz de Pineda, del cantón El Chaco, Provincia de Napo (Figura 1).



Figura 1. Ubicación de derrame en distribución político administrativa del Ecuador

El derrame al que se hace referencia fue ocasionado por un deslizamiento o corrimiento de tierra en el año 2008, el cual afectó una zona de 10.5 hectáreas de pastizales y vegetación herbácea, tal como se detalla en la Figura 2, donde se incorpora la fotointerpretación del reconocimiento de fallas geológicas cercanas al Volcán El Reventador.

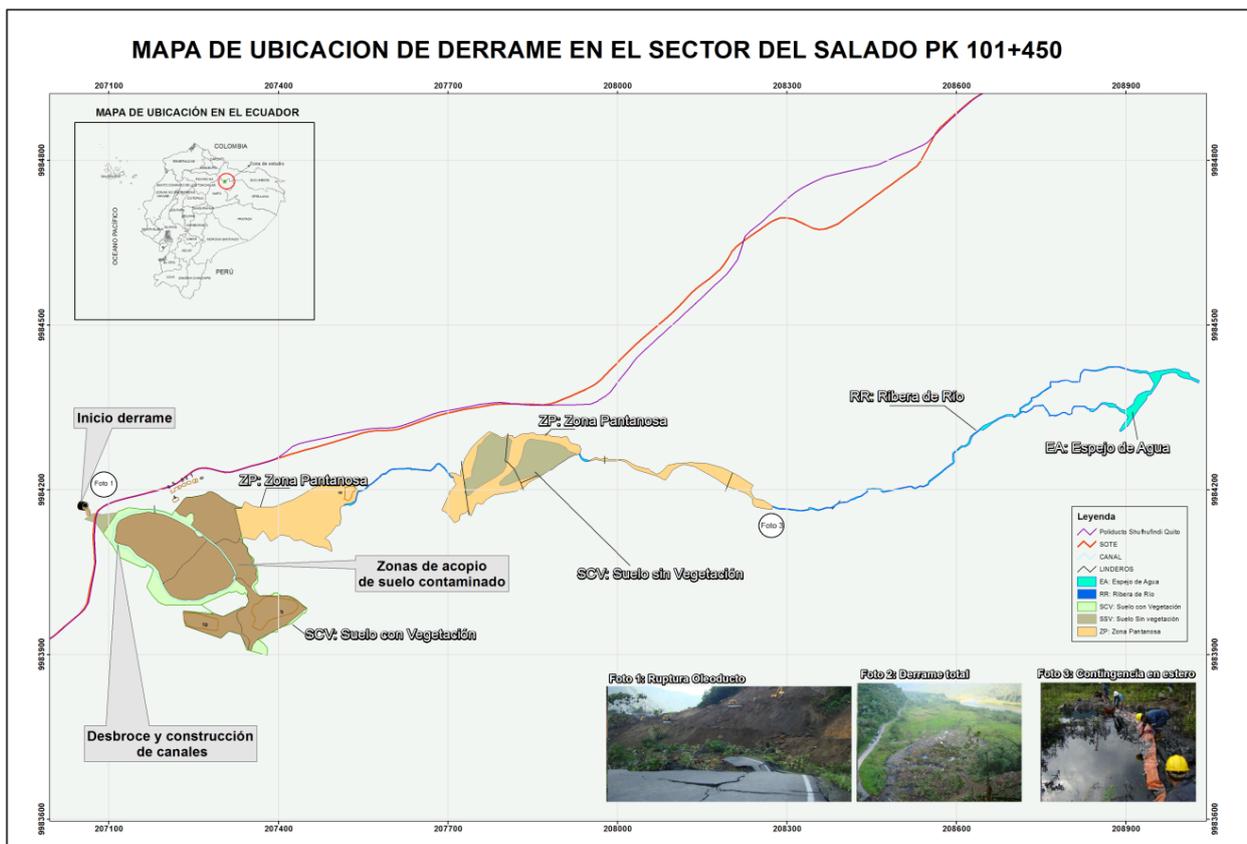


Figura 2. Ubicación referencial de derrame y visualización de imágenes ASTER GDEM en zona de derrame

La consolidación de un proceso de mejoramiento a las condiciones anteriores a un derrame sigue la secuencia de un proyecto de biorremediación ambiental aplicando biotecnologías de mejoramiento del suelo; este proceso de reconfiguración se observa en la Figura 3.

Sobre el proceso de remediación, la base del monitoreo ambiental, llevado a cabo con mapas de monitoreo de la

descontaminación de suelo de diferentes años, permite determinar zonas de mayor atención para el proceso de inoculación de bacterias *in situ*. Los datos con los que se presenta este trabajo son informes de laboratorio de muestras de suelo cuyo parámetro de análisis es TPH registrados para los años 2008, 2009 y 2010; dichos informes fueron ejecutados en laboratorios acreditados en el país, según el método de cromatografía de gases.



Figura 3. Proceso de remediación de fuentes de contaminación

METODOLOGÍA

La metodología ocupada para el control ambiental desde una perspectiva cartográfica integra de forma mixta diferentes métodos, de acuerdo a la Figura 4.

Topografía y Geodesia: se la realiza con la cuantificación del área medida utilizando la técnica de radiación topográfica con estaciones totales de precisiones angulares menores a 5" (5 segundos) con ajuste GPS diferenciales empatados a la red geodésica del Instituto Geográfico Militar (IGM), del año 2008.

Estructuración cartográfica: adaptando un catálogo de objetos nacional (CON) para el orden y registro cronológico de toda la información cartográfica de acuerdo a las directrices del Consejo Nacional de Geo Informática – CONAGE, (Figura 5).

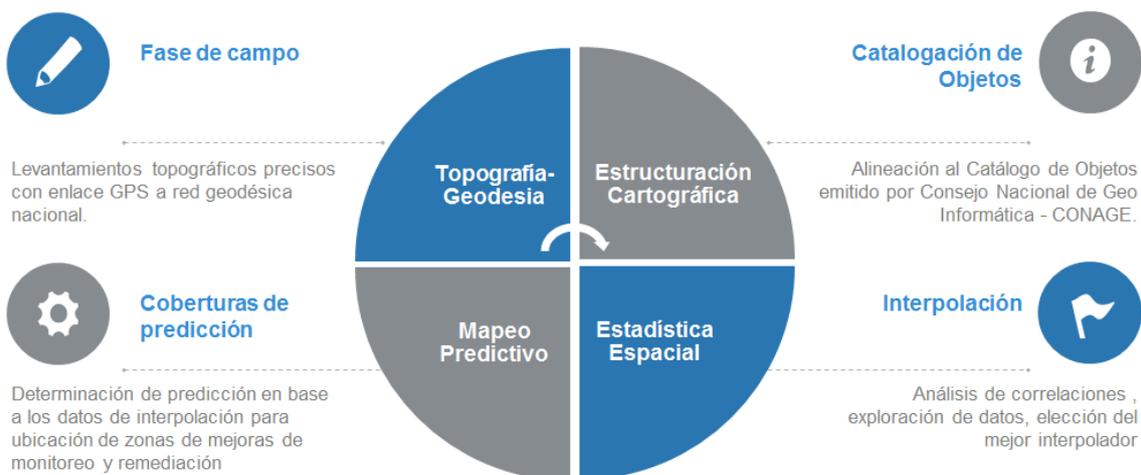


Figura 4. Metodología cartográfica aplicada al control de contaminación



Figura 5. Estructura del catálogo de objetos (CON) – Geodatabase

Estadística espacial: utilizando pruebas estadísticas definiendo hipótesis nulas, para el análisis de patrones donde concurren la aleatoriedad espacial completa (CSR, por sus siglas en inglés) con la exhibición de clustering o dispersión estadísticamente significativa, se utiliza el índice I de Moran y el análisis de punto caliente G_i^* de Getis Ord. (Buzai, 2009).

Previo a la definición del índice I de Moran cuando de punto caliente, es necesario mencionar que el coeficiente de variación mide la heterogeneidad u homogeneidad de los datos de una variable (Anselin, 2003), expresada a partir de la siguiente expresión:

$$CV = \left(\frac{s}{\bar{x}}\right) * 100,$$

donde S es la desviación estándar y se la conoce como media aritmética.

Además, es necesario definir que Skewness (CS) es el coeficiente de asimetría analizado en un histograma, el cual indica la cantidad y la dirección del sesgo, esto es, la desviación desde la simetría horizontal (Mancebo Quintana, 2008). El valor del coeficiente de asimetría puede ser positivo o negativo o incluso no definido. Si el coeficiente de asimetría es 0, los datos son perfectamente simétricos, aunque es bastante improbable para los datos del mundo real. Como regla general:

- Si el coeficiente de asimetría es menor que -1 o mayor que 1, la distribución es extremadamente sesgada.
- Si el coeficiente de asimetría se encuentra entre -1 y -0,5 o entre 0,5 y 1, la distribución es moderadamente sesgada.
- Si el coeficiente de asimetría se encuentra entre -0,5 y 0,5, la distribución es aproximadamente sesgada.

Cuando el valor de CS es mayor a 0, es necesario realizar una transformación tipo logarítmica para considerar a los datos dentro de una distribución normal (Fuenzalida, 2015).

I de Moran es, esencialmente, el coeficiente de correlación de Pearson con una matriz de pesos definida por el usuario que mantiene el rango entre -1 y 1.

La estructura **de I de Morans** es la siguiente:

$$I = (n / S_0) \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} z_i z_j / \sum_{i=1}^n z_i^2,$$

donde Z_i es la desviación de un atributo para el parámetro i de su media $(x_i - \bar{x})$, w_{ij} es el peso espacial entre el parámetro i y el j , n es igual al número total de parámetros, y S_0 es el agregado de todos los pesos espaciales:

$$S_0 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij}$$

Análisis predictivo: utilizando interpoladores estocásticos como lo es Kriging para la determinación de zonas de contaminación con niveles de confianza sobre el 80%.

Kriging estima el valor de la variable "Z" en un punto X_0 no medido con anterioridad, para ello se realiza una suma ponderada de los pesos de la variable por el valor mismo de dicha variable, de tal manera que ecuación básica que representa Kriging es (Fuenzalida, 2015):

$$\hat{Z}(s_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(s_i)$$

donde

$Z_{(s_i)}$ = es el valor medido en la ubicación $n.^\circ i$

λ_i = un peso desconocido para el valor medido en la ubicación $n.^\circ i$

S_0 = la ubicación de la predicción

N = el número de valores medidos

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Topografía: la cuantificación de áreas contaminadas con técnicas topográficas y geodésicas se observan en la Tabla 1:

Tabla 1. Obtención de áreas medidas

ITEM	AREA (m ²)
SCV: Suelo con vegetación	50787.3497
EA: Espejo de agua	4278.572
RR: Ribera de río	478.64
ZP: Zona pantanosa	38561.15
SSV: Suelo sin vegetación	11111.91
Área total de medición	105375.222

Estructuración cartográfica: En función de las necesidades de la empresa, se plantean adaptaciones en el CON, definiendo cerca de 16 categorías que contienen 234 objetos. De acuerdo a este enfoque se presentan para la categoría de mitigación y remediación ambiental la propuesta del desglose de objetos cartográficos (Figura 6).

- MITIGACION AMBIENTAL.gdb
 - AREA_MITIGACION
 - AVANCE_DE_REMEDIACION
 - AREAS_REMEDIADAS
 - AREA_REMEDIADA_DERRAME
 - AREA_REMEDIADA_PISCINA
 - CONTINGENCIA
 - BARRERA_DE_CONTENCION
 - DIQUE_DE_CONTENCION
 - EQUIPO_CONTINGENCIA
 - PUNTO_DE_CONTROL
 - PASIVO_AMBIENTAL
 - PASIVO_AMBIENTAL
 - REMEDIACION_AMBIENTAL
 - PLATAFORMA_REMEDIACION
 - PUNTOS_CONTROL_AMBIENTAL

Figura 6. Estructura de geodatabase basado en el CON

Estadística espacial:

Año 2008: se registran 12 muestras, con presencia de discontinuidad de los datos, de acuerdo a lo analizado en las figuras 7, 8 y 9, ya que a partir de este monitoreo se aumentaron 38 muestras distribuidas de forma aleatoria dentro del polígono de zonas pantanosas para el año 2009, con la finalidad de obtener una distribución lo más cercano a la normalidad.

Sobre la base del análisis de su histograma, se puede concluir que no existe una distribución normal, ya que los

resultados del índice de I Morans son negativos. Cabe deducir, por tanto, que la distribución de las muestras es aleatoria respecto del parámetro TPH.



Figura 7. Histograma del parámetro TPH para el año 2008

Respecto al valor del índice I de Morans es -0.097105, para este muestreo es necesario que existan un mínimo de 30 puntos para que sean valores confiables sobre el análisis del índice I de Morans y análisis de Hot Spots (Getis - Ord Gi*).

Por otro lado, para el análisis de la dispersión o agrupación de datos, estos se obtuvieron a partir del promedio del vecino más cercano, el mismo que detalla una dispersión de los datos del año 2008 conforme lo observado en la Figura 8.

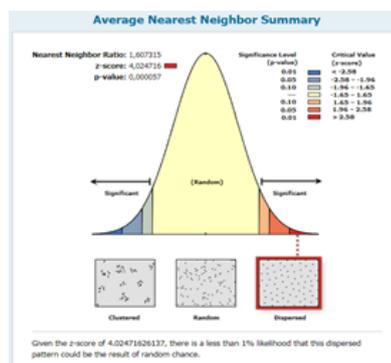
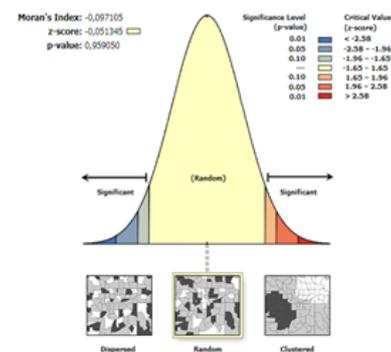


Figura 8. I de Morans y dispersión de datos de TPH para el año 2008

La no significancia hace mención a que no se encuentran valores extremos. Sin embargo, el mapeo de puntos calientes distingue valores anómalos en la sector medio de la zona pantanosa; este valor es 69337 mg/kg de TPH, conforme lo observado en la Figura 9.

Año 2009: se registran 50 muestras con mayor contaminación y principal tratamiento con el objetivo del manejo de remediación ambiental en el área del suelo con vegetación y zona pantanosa, para lo cual se diseña un

muestreo aleatorio simple, ya que existen procesos de intervención de biopilas para mejoramiento de la condición actual del terreno.

Sobre la base del análisis de su histograma se puede concluir que no existe una distribución normal, los datos del índice de I Morans es positivo por lo que la distribución de las muestras es aleatoria respecto del parámetro TPH, de acuerdo a lo observado en las Figuras 10 y 11.

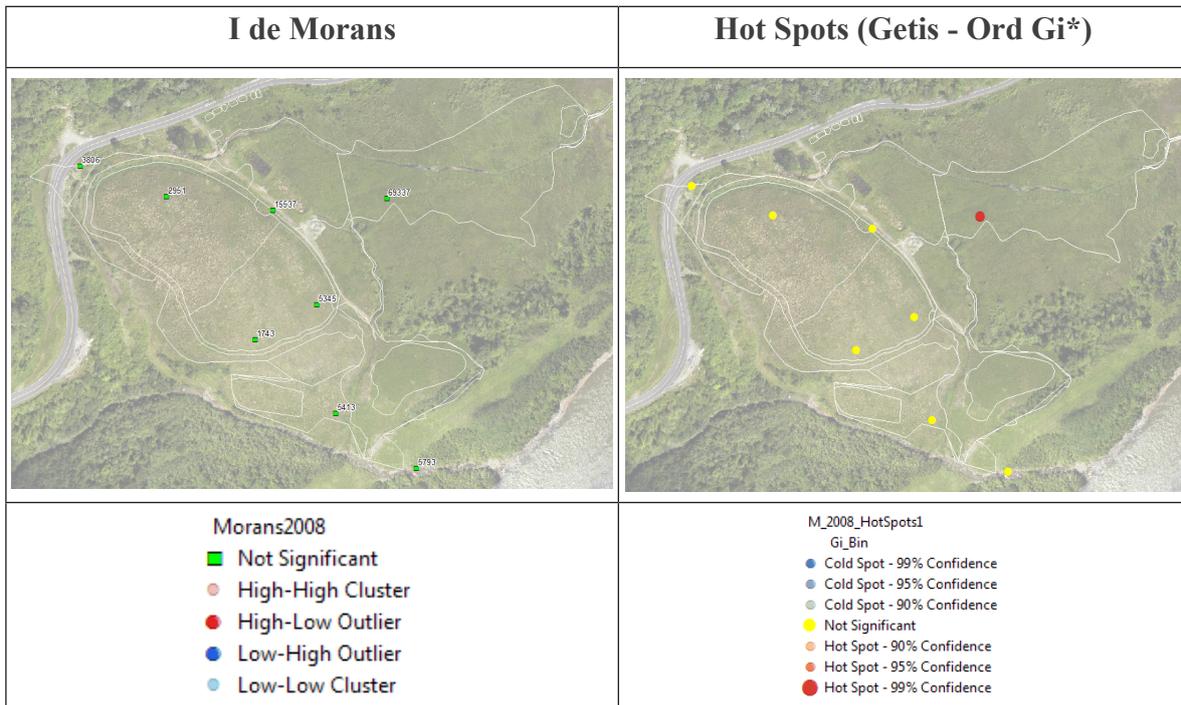


Figura 9. Mapeo de I de Morans y Hot Spots para TPH año 2008

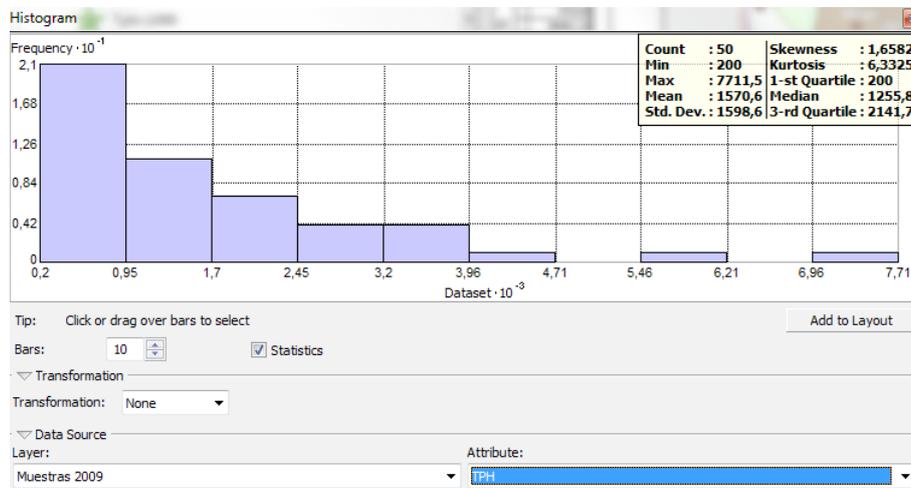


Figura 10. Histograma del parámetro TPH para el año 2009

El valor del índice I de Morans es 0.355427, para el análisis de la dispersión o agrupación de datos se obtuvo información del promedio del vecino más cercano, el mismo que detalla una aleatoriedad de los datos (Figura 11).

Los valores de los puntos calientes se encuentran en la zona inicial del derrame y en la zona central para el año 2009, de acuerdo a Figura 12.

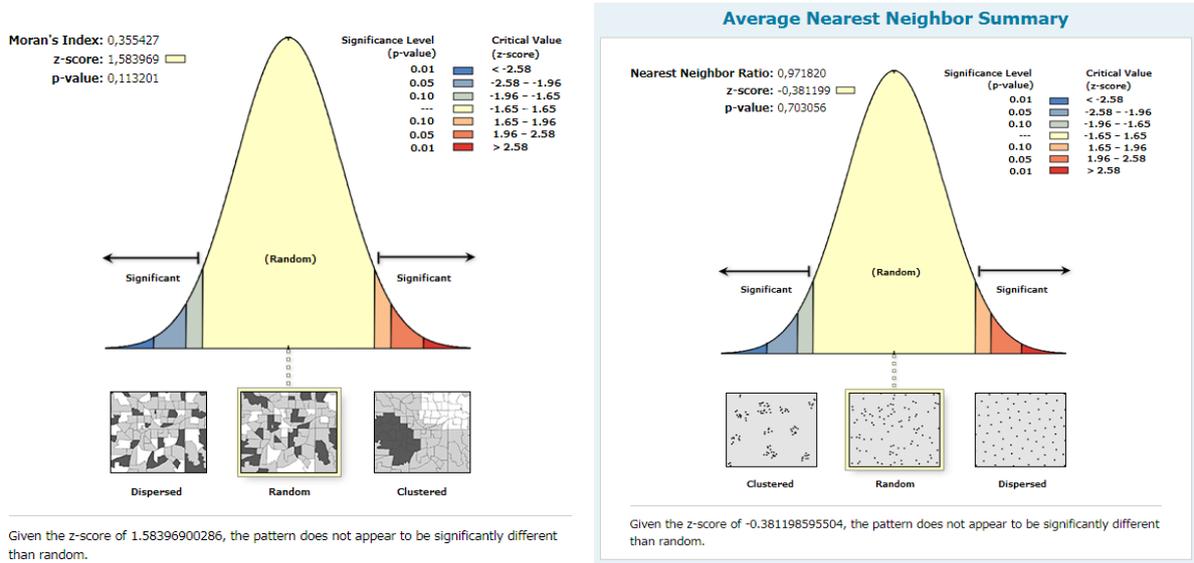


Figura 11. I de Morans y aleatoriedad del parámetro TPH para el año 2009

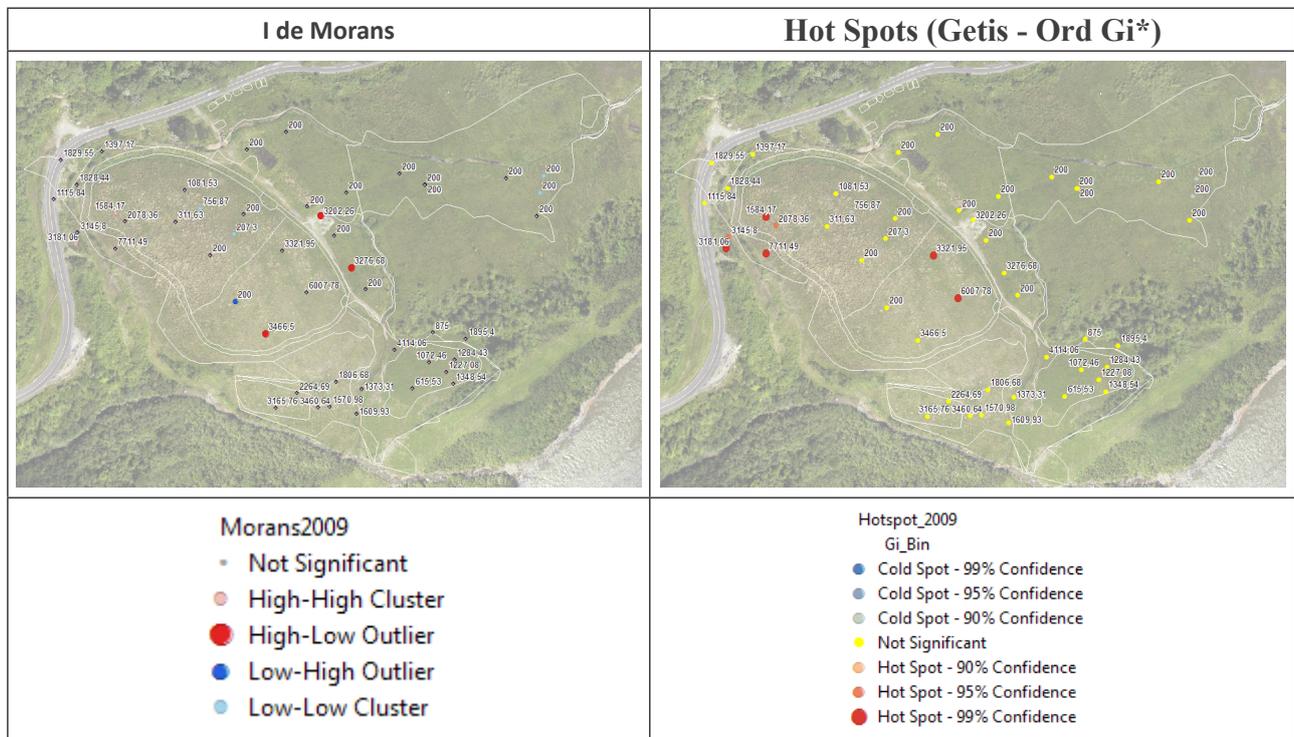


Figura 12. Mapeo de I de Morans y Hot Spots para TPH año 2009

Los colores rojos del índice I de Morans hacen mención a los valores de magnitud alta de TPH cercanos a valores de TPH bajos; con esto se distinguen valores extremos de los valores consolidados o agrupados.

Con lo verificado en torno a la ubicación de puntos extremos de contaminación cuanto de puntos calientes, se logra georreferenciar zonas en las que se deben considerar la inoculación¹ de bacterias (puntos de color verde) en la Figura 13, dichos organismos permiten el mejoramiento y aceleración de lotes de suelo en el proceso de descontaminación (Narváez, 2008), para llegar a parámetros que la normativa ambiental considere como aceptables para ecosistemas sensibles.

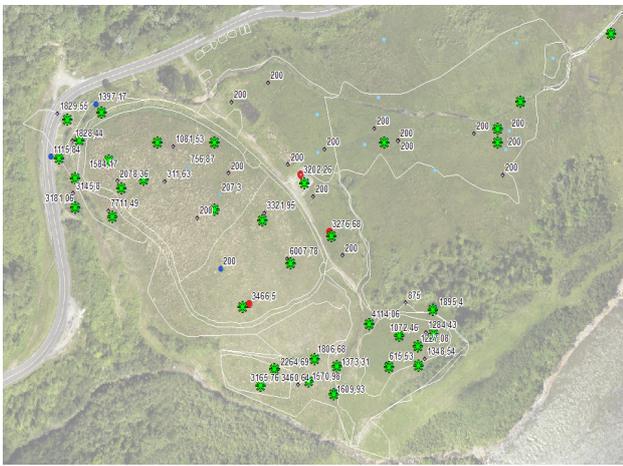


Figura 13. Ubicación de puntos para inoculación de bacterias para el año 2009

Cada bacteria, adaptada y mejorada en laboratorio, bajo condiciones controladas, fue distribuida sobre zonas de alto grado de contaminación por TPH en campo, permitiendo disminuir el valor de concentración de hidrocarburo en zonas de requerimientos puntuales de aceleración y masificación de capacidad de degradación de contaminante (ver análisis y figuras de los datos del año 2010); la lista de cada una de ellas se encuentra en la Tabla 2.

Tabla 2. Listado de bacterias inoculadas en zonas de contaminación

CODIGO	NOMBRE CEPA
77	Burkholderia_cepacia
78	Ochrobactrum_anthropi
79	Bacillus_cereus_1
80	Bacillus_cereus_1
81	Bacillus_cereus_1
82	Bacillus_mycooides_54%
83	Shewanella_putrefaciens_group
84	Bacillus_cereus
85	Shewanella_putrefaciens_group
86	Bacillus_cereus
87	Bacillus_mycooides
88	Bacillus_cereus

Año 2010: el mapa de georreferenciación de 38 muestras distingue puntos debajo de la norma de los 1000 mg/kg de TPH para el umbral de comparación para ecosistemas sensibles.

Sobre el análisis de su histograma, se concluye que no existe una distribución normal; los datos del índice de I Morans son claros: es positivo, por lo que la distribución de las muestras es aleatoria respecto del parámetro TPH, datos encontrados en la Figura 14 y 15.



Figura 14. Histograma del parámetro TPH para el año 2010

El valor del índice I de Morans es 0.154963, cuyo índice describe existencia de clusters.

Para el análisis de la dispersión o agrupación de datos se obtuvo información del promedio del vecino más cercano, el mismo que detalla aleatoriedad de los datos.

¹ Inoculación: es la adición de microorganismos a un sitio contaminado, los cuales pueden adicionarse junto con nutrientes en condiciones de laboratorio para ser inyectados en zonas de trabajo para mejoramiento de la descontaminación.

Para este año los datos son clusterizados de acuerdo al índice I de Morans, esto se da ya que se logran obtener valores de TPH bajo 1000 mg/kg en los puntos de muestreo, por lo que es evidente que el proceso de remediación ambiental con inoculación de bacterias, reduce la brecha

de contaminación desde sus primeros monitoreos en la fase de diagnóstico ambiental inicial. El mapeo del muestreo y la búsqueda de puntos calientes se observa en la Figura 16.

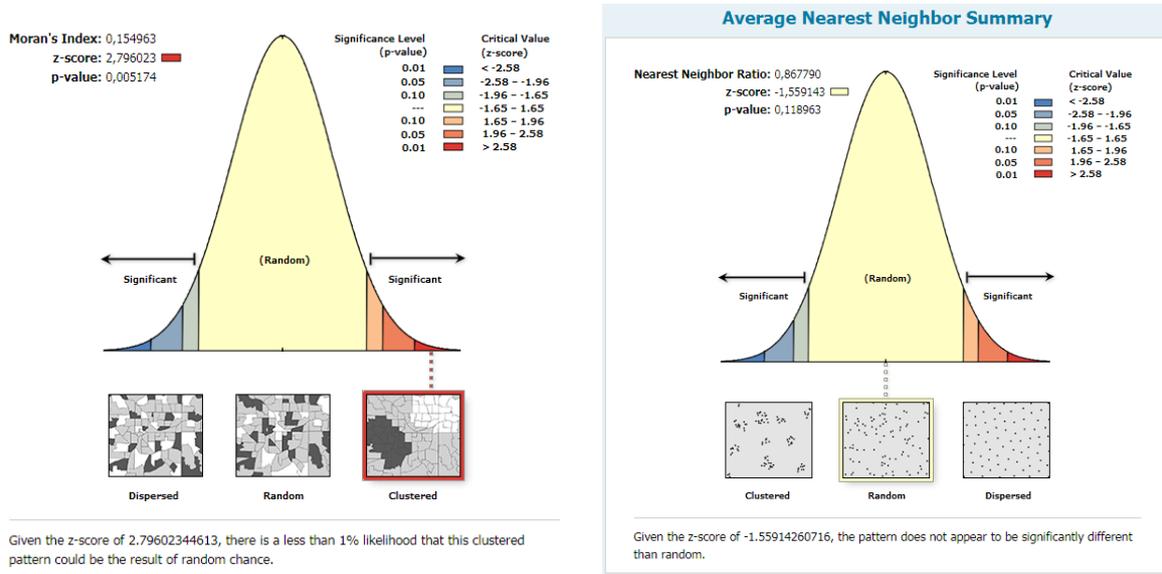


Figura 15. I de Morans y aleatoriedad del parámetro TPH para el año 2010

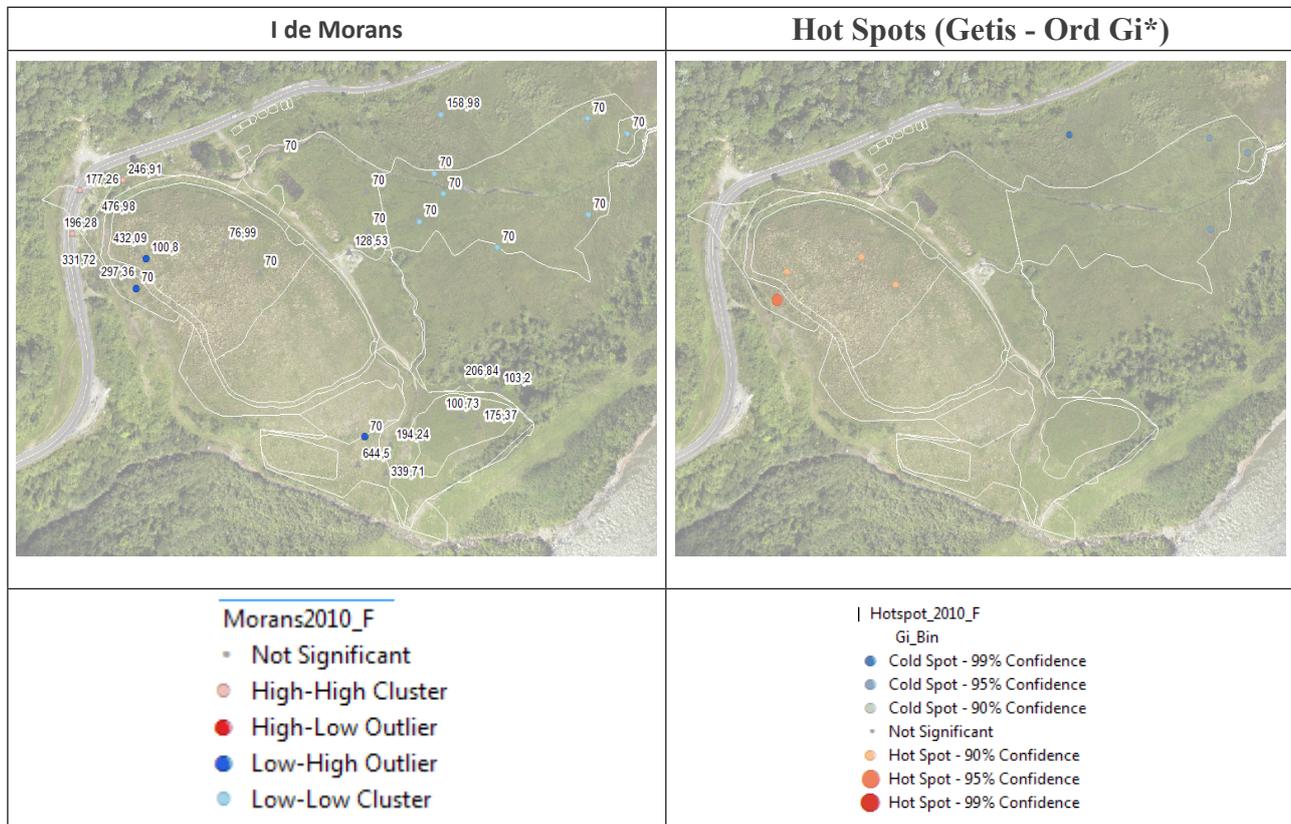


Figura 16. Mapeo de I de Morans y Hot Spots para TPH año 2010

La información obtenida del análisis exploratorio de datos de muestreo dentro de la estadística espacial se describe de forma pormenorizada en la Tabla 3. Los valores de p en el análisis del índice I de Morans

determinan una probabilidad de que el patrón espacial observado se haya creado mediante algún proceso aleatorio (Celemin, 2009), para el año de estudio.

Tabla 3. Resultados de la exploración de patrones de muestreo 2008-2010

Año	Número de muestras	Interpolación	I Morans	Hot Spots
2008	12	No aplica por el número de puntos	-0,097105 necesita un mínimo de 30 puntos z=-0.0971; p=0.959	Dispersión de datos
2009	50	Necesita transformación logarítmica para normalidad de datos (Kriging Esférico)	0.355427 z=1.5839; p=0.1132	Aleatoriedad
2010	38	Se aplica transformación de los datos encontrando efectos pepita	0.154963 z=0.1549; p=0.0051	Existencia de Clusters

Si el valor de p es muy pequeño significa que es poco probable que el patrón espacial observado sea resultado de procesos aleatorios; para el caso del año 2010 sus datos están agrupados o clusterizados.

Si el $100 < CV < 200$, existe asimetría positiva y los valores de media, mediana y moda no son similares, por lo que se corrobora aplicar una transformación de tipo logarítmica para determinar normalidad en los datos.

Interpolación:

Sobre la base de los análisis de los años 2008 y 2010, se encuentra que no existe normalidad en los datos, siendo un impedimento para predecir locaciones con potencial contaminación en la zona de remediación utilizando Kriging.

De acuerdo a esto, se transforman los datos con una función logarítmica, encontrando los siguientes resultados (Figura 17):

Con la finalidad de optimizar las zonas de remediación, para el año 2009, se normalizan los datos previo proceso de interpolación partiendo de 8 clases o número de intervalos (de acuerdo a la expresión $\sqrt[n]{n}$ donde n es el número total de datos igual a 50), este valor es 7.07, dondese elige el valor superior de 8, encontrándose un valor de media aritmética igual a 1570.6 y de mediana 1255.8 de acuerdo a datos extraídos del histograma.



Figura 17. Histograma de datos de muestras de 2009 aplicando transformación logarítmica

El coeficiente de variación para el año 2009 es de CV= 101.78%; este valor mide la representatividad de la media, por lo que se denota la existencia de valores extremos concluyendo que la media no es representativa. El valor de Skewness (CS) o denominado como coeficiente de asimetría es igual a 1.6582 y su Kurtosis= 6.3325.

El valor de media aritmética es de 6.7708, el de mediana es de 7.1352, hay mayor similaridad en datos. El CV es de 17.61%. La media aritmética es representativa entre los datos de TPH.

El valor de CS o skewness es de -0.12584, por tanto si: $0 < |CS| < 0.5$, se acepta la función de distribución de probabilidad como normal.

El análisis de tendencia que poseen los datos se observa en la Figura 18.

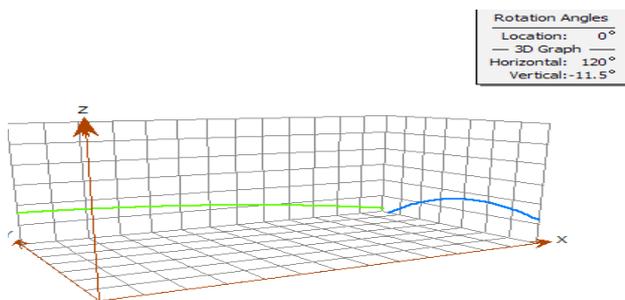


Figura 18. Análisis de influencia de direccionamiento de muestreo de 2009

Esta influencia es más fuerte en direccionamiento oeste – este, concordando con una curva de una sola concavidad, para determinar un orden 2 para la consolidación de remover una tendencia de direccionamiento del fenómeno de contaminación de forma espacial.

Para los datos de entrada en Kriging, se ingresa una transformación logarítmica de segundo orden para encontrar el mapa de predicción de la contaminación por TPH, ajustado al modelo esférico, ya que fue el modelo que presentó mejores resultados para la predicción del contaminante comparado con los modelos circular, exponencial, gaussiano, penta esférico, tetra esférico; esto se encuentra en la Figura 19.

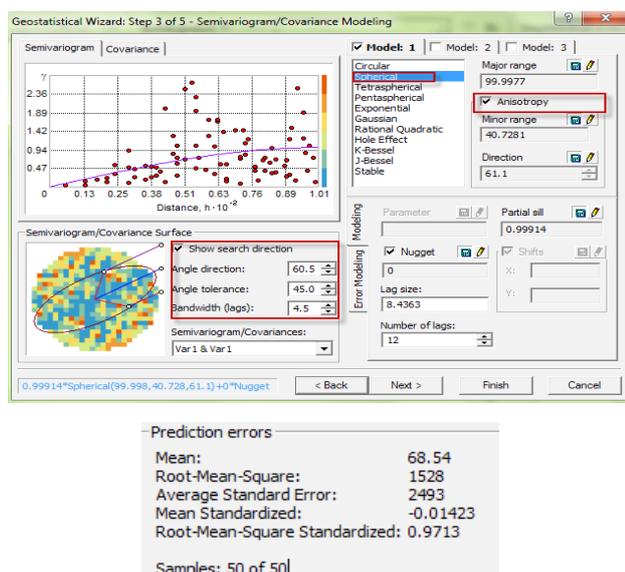


Figura 19. Análisis de variograma e ingreso de datos para interpolación

El resultado del mapa resultante del ingreso de estos parámetros para el modelo geoestadístico se encuentra en la Figura 20:

Para el año 2010, al poseer 38 muestras, se tiene un número de clases igual a 6.16, lo cual equivale a 7. Su valor de media aritmética es igual a 159.36 y su mediana 100.77; su coeficiente de asimetría es 1.9358, su kurtosis es de 6.54. De acuerdo a esto, se concluye que al encontrarse valores de $CS > 1$ se debe aplicar una transformación logarítmica. De acuerdo a esto, se calculó CV encontrando el valor de 83.71%, esto quiere decir que no existen problemas con los valores extremos. Este análisis resume que la función de distribución de los datos no se asemeja a una distribución normal, por lo que se aplica la transformación de los datos con una función logarítmica (Hengl, 2009), como se explica en la Tabla 4.

Tabla 4. Medidas de tendencia central del año 2010 sin transformaciones

Count: 38	Skewness: 1,9358
Min: 70	Kurtosis: 6,54
Max: 644,5	1-st Quartile: 70
Mean: 159,36	Median: 100,77
Std. Dev.: 133,41	3-rd Quartile: 194,24

Los datos del año 2010, aplicando la transformación logarítmica mencionada, arrojan un valor de CV igual a 13.77%; este valor debe ser menor a 100 y lo cumple, siendo la media un valor de 4.8249, la mediana de 4.6128; el coeficiente de asimetría o sesgo (skewness) es igual a 0.8253, la diferencia entre la media y la mediana es menor a 1. El valor de CS es 0.8253.

Ello nos indica que no existe una curva de normalidad, por lo que lo recomendable es generar a los datos una conversión de normalización de raíz cuadrada.

En contraste con estos datos, dando la secuencia lógica de pasos del caso del año 2009, se debe ingresar al modelo de Kriging para encontrar la gráfica de variograma determinando curvatura para orden de remoción de segundo grado, así como de la conversión de los datos con función logarítmica.

Esto difiere de lo mencionado por (Anselin, 2003) ya que la distribución de los datos para este año presentan un efecto pepita puro (Figura 21).

hectáreas se logra en un periodo de 2.6 años (dos años seis meses), descontaminando valores extremos de 69337 mg/kg a 70 mg/kg de TPH gracias a la inoculación de bacterias in situ en zonas de acumulación de sedimentos, pantanos y orillas de esteros, focalizados de acuerdo al análisis de patrones de contaminación en los análisis exploratorios de cada año.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anselin, L., (2003). Exploratory Spatial Data Analysis and GeoDa. Urbana-Champaign, EU.: Center for Spatially Integrated Social Science. Recuperado de: www.csiss.org/events/conferences/2003/anselin_asa.pdf
- Buzai, G., (2009, 30 de abril). Análisis exploratorio de datos espaciales. Revista digital del Grupo de Estudios sobre Geografía y Análisis Espacial con Sistemas de Información Geográfica (GESIG). Recuperado de <https://www.gesig-proeg.com.ar>
- Celemín, J., (2009). Autocorrelación espacial e indicadores locales de asociación espacial. Importancia, estructura y aplicación. Revista Universitaria de Geografía. Recuperado de: www.redalyc.org/pdf/3832/383239099001.pdf.
- Fuenzalida, M., (2015). Evaluación de modelos geoestadísticos aplicados a la exposición al contaminante atmosférico PM10 en Chile. Ciencias Espaciales, 8(1), 441-457. <https://doi.org/10.5377/ce.v8i1.2060>
- Hengl, T., (2009). A practical Guide to Geostatistical Mapping. Recuperado de https://spatial-analyst.net/book/system/files/Hengl_2009_GEOSTATE2c1w.pdf
- Ivanov, Y.; Zatyagalova, V., (2008). A GIS approach to mapping oil spills in a marine environment, International Journal of Remote Sensing, Volumen 29 (n.21), 6297-6313. DOI: 10.1080/01431160802175587
- Mancebo Quintana, S.; Ortega Perez, E.; Valentin Criado, A. C.; Martín Ramos, B.; Martín Fernández, L., (2008). Libro SIG: aprendiendo a manejar los SIG en la gestión ambiental. Recuperado de <http://oa.upm.es/2080/>
- Narváez-Flórez, S.; Gómez, M.; Martínez, M., (2008). Selección de bacterias con capacidad degradadora de hidrocarburos aisladas a partir de sedimentos del caribe colombiano. Boletín de Investigaciones Marino Costeras – INVEMAR, Volumen 37 (n.1). Recuperado de https://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0122-97612008000100004&script=sci_abstract&tlng=es, New York, 1993.

FACTIBILIDAD DEL USO DE COLECTORES SOLARES PARA LA OBTENCIÓN DE AGUA CALIENTE SANITARIA, APLICADA A LA VIVIENDA SOCIAL

José Andrés Palacio Serrano^{1*}, Sandra Vanessa Valarezo Jaramillo¹, Fernando Vinicio Moncayo Serrano²

¹ Universidad Técnica Particular de Loja, Departamento de Arquitectura y Arte, Loja, Ecuador

² Universidad Internacional del Ecuador Sede Loja, Facultad Arquitectura, Urbanismo y Ciudad, Loja, Ecuador

*Autor para correspondencia: japalacio1@utpl.edu.ec

Recibido: 2019/05/30

Aprobado: 2019/11/30

DOI: <https://doi.org/10.26621/XV21.2019.12.A03.PUCESI.2550.6684>

RESUMEN

El subsidio de la energía eléctrica y gas licuado de petróleo (GLP) en el Ecuador en algún momento será insostenible, es por ello; que surge la necesidad de buscar y recurrir a fuentes de energía alternativas no contaminantes como la energía solar. En este sentido, la presente investigación busca analizar la factibilidad del uso de colectores solares para la obtención de agua caliente sanitaria (ACS) en vivienda social mediante simulación virtual; tomándose como caso de estudio el proyecto habitacional "Ciudad Victoria" de la ciudad de Loja. La metodología inicia con el cálculo de la demanda energética por familia, de fuentes de origen fósil, eléctrico y solar para su posterior contraste. Luego, se procede con el cálculo y predimensionamiento de los colectores solares en función de la normativa internacional de uso, aplicación e instalación. Finalmente, mediante el método F-Chart se calcula la cobertura anual del colector a partir de datos climáticos del sector. Los resultados demuestran la factibilidad de uso de colectores solares térmicos en el área de estudio, satisfaciendo la necesidad de agua caliente sanitaria de los habitantes a bajo costo, lo que beneficia económicamente a la población, al Estado y a la protección del medio ambiente.

Palabras clave: energía solar, sistema solar térmico; eficiencia energética, Agua Caliente Sanitaria (ACS); vivienda social; Método F- Chart

ABSTRACT

The subsidy for electricity and liquefied petroleum gas (LPG) in Ecuador will at some point be unsustainable, that is why; that the need arises to seek and resort to non-polluting alternative energy sources such as solar energy. In this sense, the present research seeks to analyze the feasibility of using solar collectors to obtain sanitary hot water (DHW) in social housing through virtual simulation; taking as a case study the housing project "Ciudad Victoria" of the city of Loja. The methodology begins with the calculation of energy demand by family, from fossil, electrical and solar sources for subsequent contrast. Then, we proceed with the calculation and pre-sizing of the solar collectors according to the international regulations for use, application and installation. Finally, using the F-Chart method, the annual collector coverage is calculated based on climate data from the sector. The results demonstrate the feasibility of using solar thermal collectors in the study area, satisfying the need for sanitary hot water of the inhabitants at low cost, which economically benefits the population, the State and the protection of the environment.

Keywords: solar energy; solar thermal system; energy efficiency; Sanitary Hot Water (SHW); social housing; F-Chart Method

INTRODUCCIÓN

En Ecuador, la energía eléctrica y el gas licuado del petróleo (GLP) se encuentran subsidiados por el gobierno; esta factura aumenta según el crecimiento de la población y en algún momento será insostenible. En este sentido, surge la necesidad de acudir a recursos energéticos renovables como la energía solar para disminuir los efectos económicos de la energía fósil subsidiada.

Los países de América Latina, por su ubicación geográfica, poseen recursos energéticos renovables como las energías solar (Figura 1), eólica, de la fotosíntesis de los bosques húmedos, etc. Todo ello constituye una importante ventaja que puede permitir en el futuro la aplicación de una política energética global que garantice la independencia de estos países en esta materia. Si bien cuentan con las condiciones naturales favorables para la utilización de la energía solar, no disponen aún de tecnología ni de técnicas adecuadas para el desarrollo de instalaciones solares (Canseco, 2010).

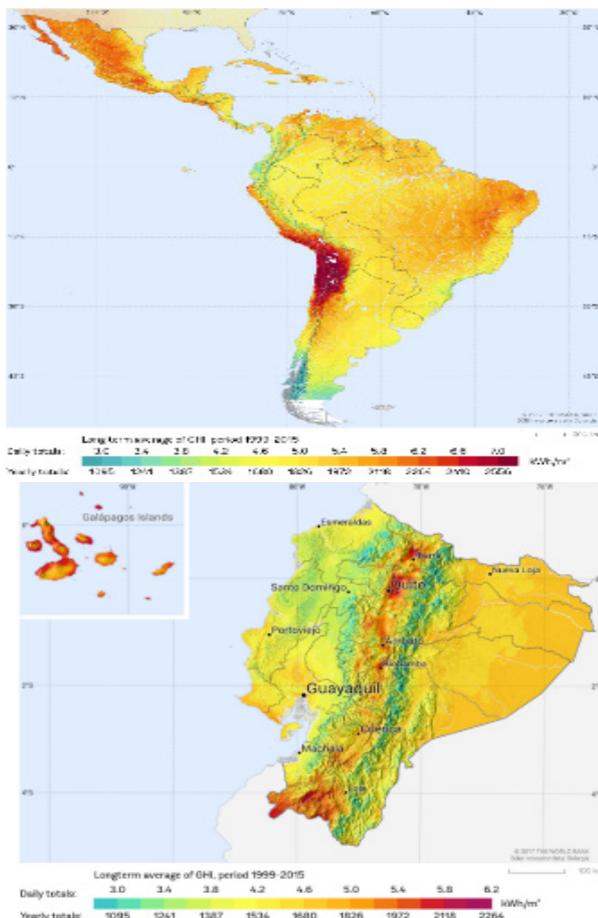


Figura 1. Irradiación global horizontal en América Latina y Ecuador en el periodo 1999-2015

Fuente: GLOBAL WIND ATLAS (2018)

En el periodo comprendido entre los años 2006-2013, la capacidad total de energía renovable en Latinoamérica aumentó más del 270 % (WWF, 2014). En la actualidad, países como Argentina, Chile, Perú, Colombia y Brasil, han desarrollado la industria energética renovable a partir de cambios en las políticas públicas e inversiones en este campo.

En cuanto al aprovechamiento de la energía solar a través de la implementación de colectores solares en nuestro país, Evans y de Schiller (2013) realizaron un estudio del aporte de energía de diferentes ciudades del Ecuador mediante el cálculo de la demanda energética necesaria para el calentamiento de agua. A partir del cálculo de la fracción solar del colector plano usado en el estudio, se estima un importante ahorro de energía eléctrica en base al uso de energía solar, que varía según la región en la que se implemente.

En la ciudad de Loja, se determina que el aporte de energía solar para el calentamiento de agua en una vivienda a partir de un colector plano es del 71,46% de la demanda energética anual para esa familia, siendo necesario un 28,54 % de energía eléctrica para la satisfacción del requerimiento energético. Se observa que a medida que mejoran las condiciones económicas de las familias estas tienden a cambiar las duchas eléctricas por calefones de combustión de gas por el confort y el bajo costo del gas subsidiado.

En este sentido, la presente investigación se centra en buscar alternativas a las fuentes energéticas tradicionales contaminantes, ante un posible escenario de retiro del subsidio del GLP y energía eléctrica. La investigación se basa en determinar la factibilidad del uso de colectores solares térmicos de tubo de vacío para la obtención de ACS aplicada a la vivienda social en la ciudad de Loja.

Existen diferentes formas de simulación energética solar, como la dinámica a través de softwares especializados y simulaciones analíticas como el Método F-chart, las cuales permiten calcular el rendimiento de un sistema solar térmico en un determinado lugar geográfico. Dada la implementación de un sistema, se puede comprobar el aporte energético anual generado por el colector y a su vez calcular los aportes eléctricos complementarios externos.

Como resultado, se propone una alternativa energética, sustentable y económica, al uso de las fuentes de energía tradicionales, algo que beneficiaría al Estado, a los hogares y al medio ambiente.

MATERIALES Y MÉTODOS

La presente metodología exploratoria se basa en la experimentación para el aprovechamiento de energía solar y la obtención de ACS en la urbanización “Ciudad Victoria” de la ciudad de Loja. El estudio se desarrolla en dos fases: la primera consiste en el cálculo de la demanda energética para el sector y la segunda en el predimensionamiento del sistema solar térmico a partir de información geográfica y climática del lugar (Figura 2).

La aplicación del método F-Chart (Duffie y Beckman, 2013) permite calcular la fracción solar mensual y anual del sistema solar térmico propuesto y realizar comparaciones de consumo energético y económico con otras fuentes de energía como la eléctrica y fósil.

Finalmente, para la integración del sistema en las viviendas del sector, se realiza el modelamiento en tres dimensiones

de las dos tipologías de viviendas existentes incluidas las instalaciones hidrosanitarias.

Zona de estudio

Para la presente investigación, por el carácter, condiciones sociales e impacto económico que causaría en su población un hipotético retiro del subsidio del GLP, se toma para el estudio la urbanización “Ciudad Victoria” ubicada al oeste de la ciudad de Loja (Figura 3); latitud -4.0014033 y longitud -79.2341523. La ciudadela cuenta con un área proyectada de 8,24 ha, 38 manzanas y 1716 lotes o solares edificados (VIVEM-EP, 2013).

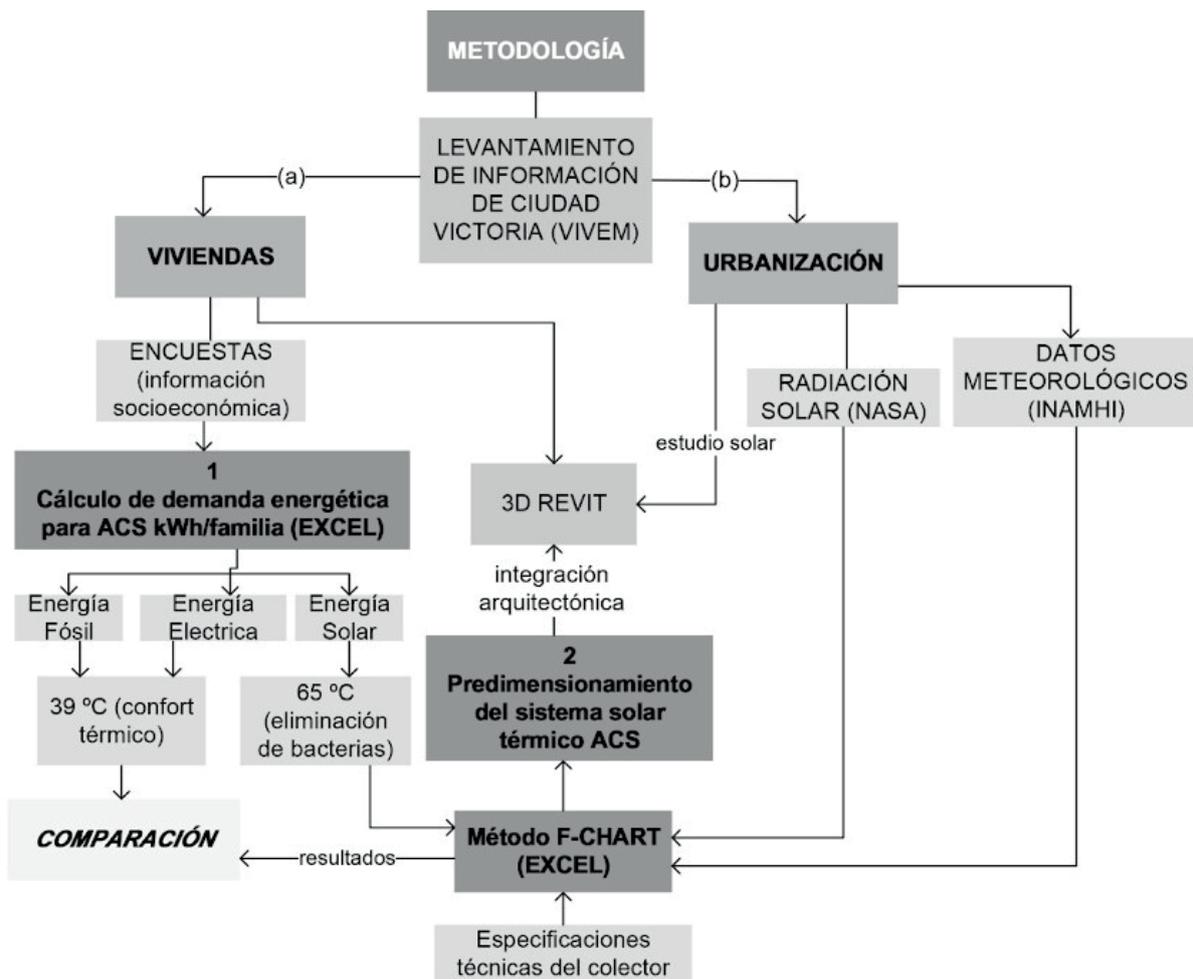


Figura 2. Metodología propuesta para determinar la factibilidad de los colectores solares en Loja

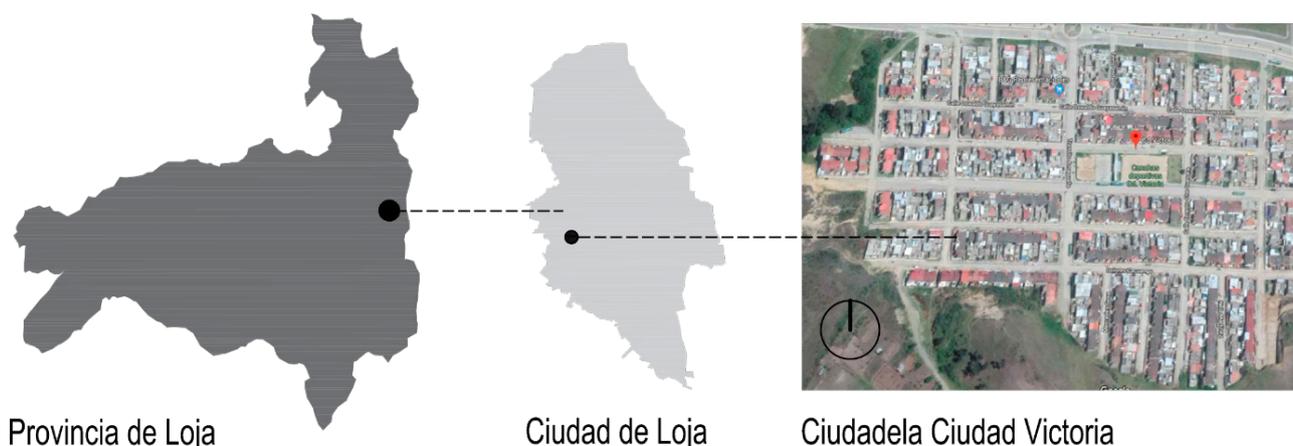


Figura 3. Ubicación y vista satelital de la urbanización Ciudad Victoria

Cálculo de la demanda energética

-Información socioeconómica

Para el cálculo de la demanda energética se realiza el levantamiento de información socioeconómica de la urbanización a través de encuestas. Se considera la fórmula del tamaño de la muestra para población finita, propuesta por Mateu y Casal (2003), para determinar el número de viviendas de dos plantas a encuestar, conociendo el tamaño de la población (663 viviendas):

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

Donde:

- n=** muestra, viviendas a encuestar
- N=** número total de viviendas de dos plantas: 663
- Z=** nivel de confianza deseado, en este caso usaremos el 95% equivalente a: 1,96
- p=** probabilidad de éxito, para encuestas de este tipo se usa el 95%, equivalente al factor: 0,95
- q=** probabilidad de fracaso, el 5% restante de la probabilidad de éxito con el factor: 0,05
- e=** error matemático, factor similar al de la probabilidad de fracaso: 0,05

$$n = \frac{663 \times 1,96^2 \times 0,95 \times 0,05}{0,05^2 \times (663 - 1) + 1,96^2 \times 0,95 \times 0,05} = 66$$

El tamaño de la muestra determina un número de 66 viviendas por encuestar; a partir de ello, se obtiene información real para la investigación cuyos resultados son los siguientes:

Nº de personas que habitan las viviendas	Porcentaje de viviendas por el número de personas que las habitan	Promedio mensual pago de luz USD		
		Ducha eléctrica	Calefón	Agua fría
1	1%		6,00	
2	6%	11,33	18,00	
3	15%	16,25	15,75	8,00
4	33%	17,56	17,87	17,00
5	26%	18,70	21,16	19,00
6	6%	17,33	17,00	
7	6%	21,00	16,00	25,00
8	3%	22,50		
9	2%			31,00
10	2%		25,00	
Promedio total		17,81	17,09	20,00

Tabla 1. Información socioeconómica obtenida a partir de las encuestas

Se determina que el grupo mayoritario que habita en las viviendas de dos plantas es de 4 personas; por lo tanto, los cálculos posteriores se harán en base a este número.

- Demanda energética para alcanzar el confort térmico

Se realiza el cálculo partiendo de las necesidades energéticas y dotación de ACS de una familia de cuatro personas. El agua caliente usada por persona al día es de alrededor de 40 litros para higiene personal, es decir, las necesidades de esta familia son de aproximadamente 160 litros diarios.

Siendo necesario que el agua alcance los 39 °C (confort térmico) y bajo el supuesto de que su temperatura inicial es de 13,3 °C (Samaniego Ojeda, Hernández, y Correa, 2016), se precisa el siguiente aporte calórico:

$\text{litros diarios} \times (\text{temperatura final} - \text{temperatura inicial}) =$
 $\text{Kilocalorías por día}$

$$160 \times (39 - 13,3) = 4112 \text{ Kilocalorías por día para } 39^\circ\text{C};$$

Dado que 1 kWh = 860 kcal

$$4112 \text{ kcal} = \frac{4112}{860} \text{ kWh} = 4,78 \text{ kWh al día para } 39^\circ\text{C};$$

$$4,78 \times 365 = 1745 \text{ kWh al año para } 39^\circ\text{C}$$

- Demanda energética fósil (GLP) para ACS

Samaniego Ojeda (2016) calcula la energía útil que proporciona un cilindro de gas de 15 kg al ser combustionado por determinado calefón. Para ello se sirve de la siguiente fórmula:

$$\text{Energía útil del cilindro (kWh)} = \frac{\text{masa útil cilindro} \times \text{PCI} \times \eta \text{ calefón}}{3600}$$

$$= \frac{13,64 \times 46168,7 \times 0,87}{3600} = 152,2 \text{ kWh}$$

Donde:

PCI: Poder calórico inferior

η: Rendimiento del calefón (87%)

Como se observa en el apartado anterior, una familia consume al año 1745 kWh para ACS a 39 °C, por lo tanto, se necesitarán:

$$\frac{1745 \text{ kWh}}{152,2 \text{ kWh}} = 11,99 \approx 12 \text{ cilindros de } 15 \text{ kg al año}$$

El 24% de los hogares encuestados usan GLP; por lo tanto, se asume que el 24% del total de viviendas utilizan esta fuente fósil (412).

A continuación, se procede a calcular las emisiones totales de la urbanización por año:

$$1 \text{ vivienda} = 518,7 \text{ kg de CO}_2 \text{ al año}$$

$$412 \text{ viviendas} = 213,7 \text{ toneladas de CO}_2 \text{ al año}$$

- Demanda eléctrica para ACS

La Empresa Eléctrica Regional Centro Sur (2018) indica que "el consumo eléctrico es el consumo de energía en un período determinado de tiempo expresado en kWh". Se establece que el tiempo promedio que una persona utiliza para su ducha diaria es de 8 minutos.

Para calcular el consumo mensual del aparato eléctrico para ACS, se multiplica la potencia del electrodoméstico W por el número de horas usado en el mes.

Con ducha eléctrica:

$$\text{Consumo anual (kWh)} = \frac{\text{Potencia del aparato (W)} \times \text{horas de uso} \times \text{días de uso al año}}{1000}$$

$$= \frac{5200 \times 0,5333 \times 365}{1000} = 1012,2 \text{ kWh al año}$$

Con calefón eléctrico:

$$\text{Consumo anual (kWh)} = \frac{\text{Potencia del aparato (W)} \times \text{horas de uso} \times \text{días de uso al año}}{1000}$$

$$= \frac{11800 \times 0,5333 \times 365}{1000} = 2296,92 \text{ kWh al año}$$

- Demanda energética solar para ACS

Es necesario que el agua alcance los 65 °C para evitar problemas de salud (Zorraquino, San José, de Subijana y Casado, 2004) y considerando una temperatura inicial del 13,3 °C (Samaniego Ojeda et al., 2016) se precisa el siguiente aporte calórico:

$\text{litros diarios} \times (\text{temperatura final} - \text{temperatura inicial}) =$
 $\text{kilocalorías por día}$

$$160 \times (65 - 13,33) = 8267,2 \text{ kilocalorías por día; para alcanzar los } 65^\circ\text{C}$$

Dado que 1 kWh = 860 kcal

$$8267,2 \text{ kcal} = \frac{8267,2}{860} \text{ kWh} = 9,61 \text{ kWh al día para alcanzar los } 65^\circ\text{C};$$

$$9,61 \times 365 = 3507,65 \text{ kWh al año para alcanzar los } 65^\circ\text{C}$$

Fracción solar de un colector de tubo de vacío en Loja

Para realizar el cálculo de la fracción solar de un sistema solar térmico, es necesario el análisis de la radiación global de la ciudad (NASA, 2018) y su situación meteorológica (INAMHI, 2018). En la Figura 4, se muestra el promedio mensual de radiación global en la ciudad de Loja desde 1990 hasta 2012. En el mismo, se observa que durante el primer semestre del año la irradiación global es relativamente baja, mientras que en el segundo semestre es más alta.

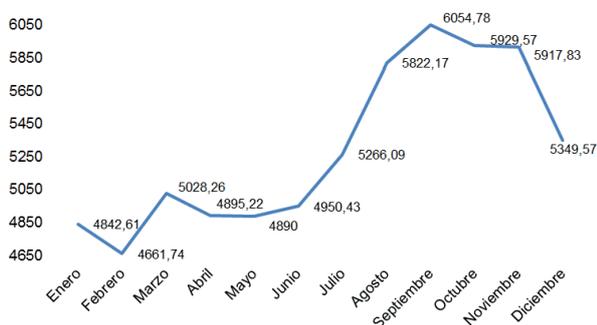


Figura 4. Radiación global (Wh/m2) de la ciudad de Loja promedio diario mensual en el periodo 1990-2012

En la Figura 5 se puede observar que la temperatura media mensual del sector varía entre 15,2°C y 16,6°C durante todo el año.

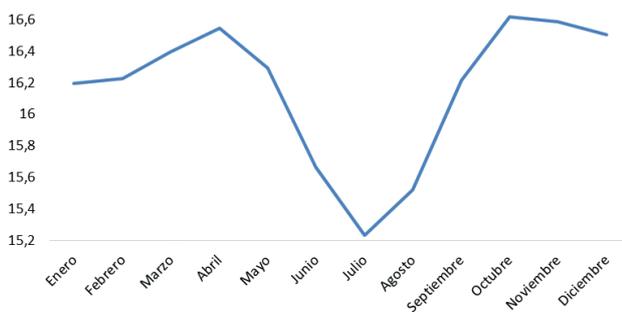


Figura 5. Temperatura media mensual de la ciudad de Loja en el periodo 1990-2012

Método de cálculo F-Chart

El método permite estudiar el comportamiento energético del sistema predimensionado, para comprobar el cumplimiento de los parámetros preestablecidos del mismo (Méndez Muñiz, Cuervo García, y Formación, 2010).

$$f = 1,029 D_1 - 0,065 D_2 - 0,245 D_1^2 + 0,0018 D_2^2 + 0,0215 D_1^3$$

Donde:

f = fracción solar

D_1 = relación entre la energía absorbida por el colector y la carga calórica total del calentamiento

D_2 = relación entre las pérdidas de energía y la carga calórica de calentamiento

A continuación, la Tabla 2 muestra a detalle la fracción solar anual del periodo comprendido entre 1990-2012 con el colector de 3,19 m² (tamaño estándar disponible en el mercado). Se calcula la diferencia entre la demanda de energía necesaria y la captada. La diferencia en kWh será proporcionada por un calentador de apoyo. Por lo tanto, habrá un consumo eléctrico que se multiplica por la tarifa normal del kWh/0.091 USD, obteniéndose el valor que se gasta para complementar el requerimiento energético del colector solar.

Tabla 2. Comparación anual entre demanda energética bruta y el aporte de energía solar con un área de captación de 3,19 m²

Año	Fracción Solar %	Demanda Bruta kWh/año	Aporte de energía solar kWh/año	Energía eléctrica de apoyo kWh/año	kWh/0,091 USD
1990	98	3510,75	3436,7	74,05	6,74
1991	97	3510,75	3407,39	103,36	9,41
1992	90	3520,37	3185,88	334,49	30,44
1993	91	3510,75	3199,71	311,04	28,3
1994	92	3510,75	3228,9	281,85	25,65
1995	97	3510,75	3418,75	92	8,37
1996	98	3520,37	3456,67	63,7	5,8
1997	92	3510,75	3242,7	268,05	24,39
1998	93	3510,75	3272,9	237,85	21,64
1999	93	3510,75	3248,17	262,58	23,89
2000	91	3520,37	3216,21	304,16	27,68
2001	92	3510,75	3226,47	284,28	25,87
2002	92	3510,75	3223,32	287,43	26,16
2003	98	3510,75	3432,52	78,23	7,12
2004	96	3520,37	3384,27	136,1	12,39
2005	100	3510,75	3519,58	0	0
2006	98	3510,75	3434,3	76,45	6,96
2007	95	3510,75	3326,31	184,44	16,78
2008	81	3520,37	2853,42	666,95	60,69
2009	84	3510,75	2953,19	557,56	50,74
2010	84	3510,75	2936,63	574,12	52,24
2011	85	3510,75	2977,19	533,56	48,55
2012	84	3520,37	2952,03	568,34	51,72

Fuente: Elaboración propia

En el periodo analizado, se observa que se produce un descenso significativo de la fracción solar, a partir del año 2008; por lo tanto, una de las alternativas para mejorar esta cobertura es incrementar el área de captación del colector. Se observa que el colector de 3,88 m² se aproxima a las necesidades energéticas; por lo tanto, se procede a realizar el cálculo del gasto que generaría un calentador eléctrico de apoyo, Tabla 3.

Tabla 3. Comparación anual entre demanda energética bruta y el aporte de energía solar con un área de captación de 3,88 m²

Año	Fracción Solar %	Demanda Bruta kWh/año	Ahorro con energía solar kWh/año	Energía eléctrica de apoyo kWh/año	kWh/0,091 USD
2008	92	3520,37	3238,86	821,51	25,62
2009	95	3510,75	3342,39	168,36	15,32
2010	95	3510,75	3325,46	185,29	16,86
2011	96	3510,75	3367,04	143,71	13,08
2012	95	3520,37	3341,96	178,41	16,24

Integración del sistema solar térmico

Se parte del modelado volumétrico del área de estudio (Figura 6) a partir del software Revit de Autodesk (BIM) (Zalamea León y García Alvarado, 2014), en base a información proporcionada por el Municipio de la ciudad (VIVEM-EP, 2013) para el análisis del recorrido solar en el sector.

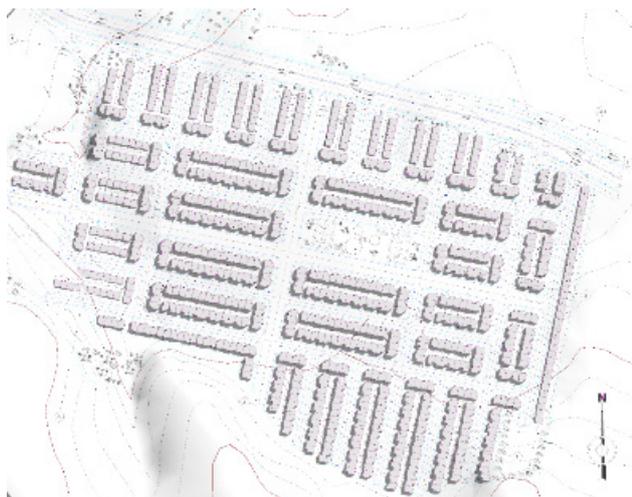


Figura 6. Modelado de la urbanización Ciudad Victoria

- Soleamiento del sector

Para la evaluación del soleamiento de la urbanización se utilizó Revit, para ello; se escogieron los solsticios de verano (21-22 de diciembre) e invierno (21-22 de junio) en el hemisferio Sur, que equivalen al día más largo y más corto del año en cuanto a horas de sol, respectivamente (Figura 7).

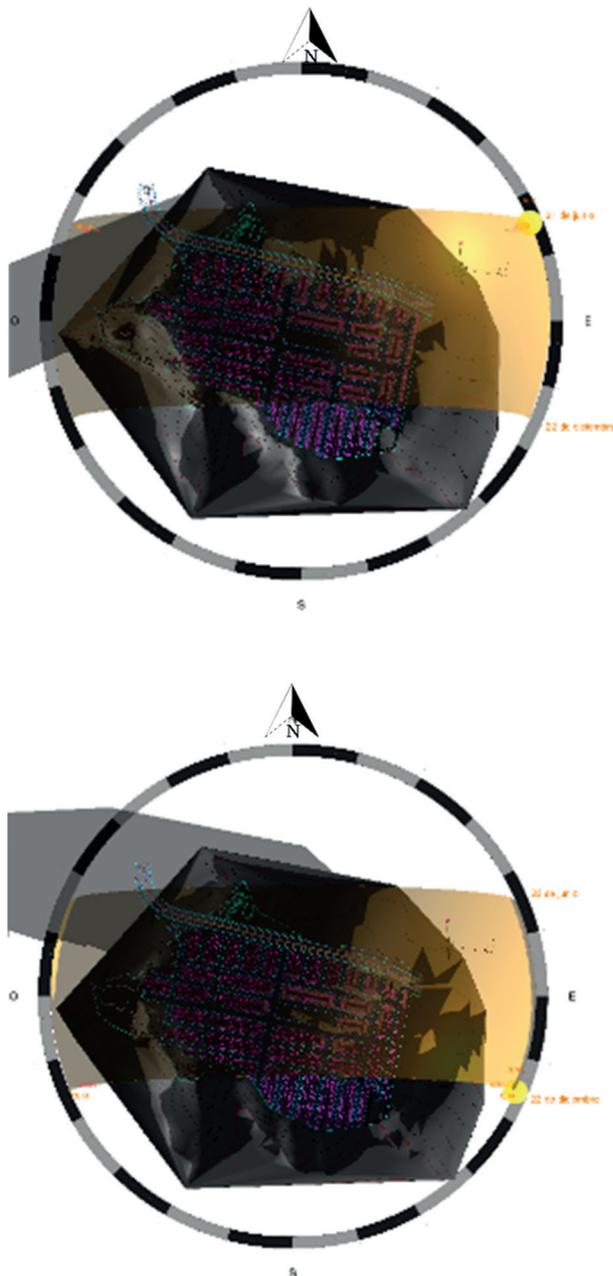


Figura 7. Recorrido del sol entre los solsticios de invierno y verano a las 06:22 en el sector "Ciudad Victoria"

- Modelamiento de tipologías de vivienda del sector

Se procede con la representación en tres dimensiones de las dos tipologías de vivienda del proyecto habitacional (Figura 8), la mayoría emplazadas en lotes adosados de 90. La vivienda de una planta está proyectada para cuatro personas y su área es de 40 m², mientras que la tipología de dos plantas consta de un área de 90 m² proyectada para que habiten cinco personas.



Figura 8. Tipologías de vivienda de una planta y dos plantas de Ciudad Victoria

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Demanda de GLP para ACS

Para cubrir la demanda de ACS de cuatro personas al año, se observa que se necesita al menos un cilindro de gas mensual para calentar el agua; por lo tanto, se usarán doce cilindros anuales que emiten 518,7 kg de CO₂ al

año. El 24% de la urbanización emite 215,78 toneladas de CO₂ al año.

Mientras el subsidio del gas en el país esté vigente, el consumo anual tiene un valor total de \$19,20 sin precio de distribución, \$33,00 con precio de distribución y \$270,00 sin subsidio y distribución (año 2012). Todo ello indica que el gasto se incrementa más de ocho veces en relación al valor actual.

Demanda de electricidad para ACS

Se determina que una familia que usa calentador eléctrico de agua para su aseo personal consume al año 2297 kWh, pagando aproximadamente 209,00 USD anuales; mientras que el consumo se reduce hasta llegar a 1012,2 kWh usando ducha eléctrica, esto es, 92,11 USD anuales (año 2012).

Demanda energética con temperatura de diseño de 65 °C

La temperatura mínima requerida al calentar el agua con colectores solares es de 60 °C, no obstante, se fija una temperatura de diseño de 65 °C para evitar el uso o en la menor medida posible de un dispositivo de apoyo, ya que el material del que está hecho el tanque de almacenamiento térmico del agua la mantiene aislada con pérdidas de hasta 4 °C. Por lo tanto, la demanda anual de energía para satisfacer las necesidades de una familia de cuatro integrantes es mayor, hasta llegar a los 3507,65 Kwh al año.

Fracción solar del colector Heat Pipe

El periodo estudiado de 1990-2012 muestra un rendimiento regular del colector de 3,19 m² de superficie, con bajos de hasta el 90% en 1992 y máximos que llegan al 100% en el año 2005. En el 2008 se produce descenso importante que llega al 81%; desde entonces hasta el 2012 se llega al 84%. Esto significa que la tendencia es descendente. Por lo tanto, si se usa un calentador de apoyo que ayude a llegar a la temperatura de diseño, habrá un costo anual de electricidad promedio de \$52,00.

Para reducir el consumo eléctrico anual se plantea un área mayor de captación de 3,88 m², obteniendo así una mejor fracción en el periodo 2008-2012, donde 2008 es el año más bajo con 92% y 2011 el más alto con 96%. De la misma manera, se usa un calentador eléctrico de apoyo con un gasto anual promedio de \$17,00.

Se procede a comparar los resultados obtenidos, que se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4. Comparación de resultados del año 2012

Energía		kWh/ anual	USD/anual	CO2/anual	
Renova- ble	Colec- tor solar	178,41	16,24	0	
Eléctrica	Calefón	2297	209,00	0	
	Ducha	1012,2	92,12	0	
Fósil	Calefón de gas	1745	270,00 (sin subsido y distribución)	518,70	kg
		1745	33,00 (con subsido y distribución)	518,70	kg
		1745	19,20 (con subsido sin distribución)	518,70	kg

Se demuestra de esta manera que a pesar de que la demanda energética solar duplica la demanda para llegar al confort térmico, resulta más económica que la energía eléctrica consumida por una ducha. Queda descartado el GLP, ya que en el momento en que se retire el subsidio o se reduzca al mínimo, su precio sería demasiado elevado, causando por ende gran impacto económico en las familias. En cuanto a emisiones, las energías más limpias son la solar y eléctrica, que no emiten CO₂, mientras que con GLP una familia de cuatro personas emite más de media tonelada al año.

En cuanto al gasto anual, el consumo de energía eléctrica de apoyo es mínimo como complemento del colector solar, siendo cinco veces menor que el gasto producido por la ducha eléctrica.

Precio del colector solar Heat Pipe

En el estudio de mercado en diferentes locales que venden e instalan este tipo de tecnología solar, se encontró un colector que cumple con los requerimientos de la investigación, a un costo de 950,00 USD. La Tabla 5 muestra la relación entre el precio del colector y el costo anual de GLP y electricidad para ducharse.

Tabla 5. Recuperación de inversión luego de la instalación del colector solar

Precio anual USD		Recuperación de la inversión
Colec- tor solar	270,00 (GLP sin subsidio)	3 años y medio
\$950,00	209,00 (Consumo calentador eléctrico)	4 años y medio
	92,12 (Consumo ducha eléctrica)	10 años y cuatro meses

Se estima también en cada caso el tiempo necesario para

pagar la tecnología solar y si se hace relación a la vida útil de la misma (20 años), es decir, su tiempo de amortización; las familias obtendrán un ahorro considerable a mediano y largo plazo.

En cuanto al mantenimiento que requiere el colector solar Heat Pipe compacto, es importante señalar que los tubos de borosilicato son resistentes a la intemperie y en caso de daños éstos pueden ser remplazados con facilidad sin detener la instalación. Además, al estar inclinado más de 20° y la forma cilíndrica de los tubos, hace que la limpieza se dé con facilidad a través de las frecuentes precipitaciones en el sector (Méndez Muñiz, Cuervo García, y Formación, 2010).

En la Tabla 6, se observa la clara ventaja del uso de los colectores tanto en lo económico como en lo ecológico, siendo únicamente la inversión inicial de la tecnología solar más alta que la eléctrica y combustible.

Tabla 6. Proyección de costos y emisiones de CO₂ en un período de veinte años

Energía		USD Precio de aparato e insta- lación	Consumo USD/20 años	USD Instala- ción y consumo	CO ₂ /20 años
Renovable	Colec- tor solar	950	324,8	1274,8	0
Eléctrica	Calefón	300	4180	4480	0
	Ducha	50	1842,4	1892,4	0
Fósil	Calefón de gas	410	5400 (sin subsido y distribución)	5810	10,374 t
			660 (con subsido y distribución)	1070	10,374 t
			384 (con subsido sin distribución)	794	10,374 t

Instalación de los colectores solares en las viviendas

Se orienta el colector hacia el norte y la inclinación óptima es de 23, 45°, sin embargo; se deben cuidar siempre aspectos como la superposición arquitectónica para reducir el impacto visual en el entorno y evitar sombras (Méndez Muñiz, Cuervo García, y Formación, 2010).

En las viviendas de una planta, cuya cubierta es de losa de hormigón, se facilita dar la orientación e inclinación adecuada al colector y permite un fácil mantenimiento del mismo (Figura 9).

Cuando la vivienda de dos plantas se encuentra orientada hacia al Este u Oeste, complica la instalación de los colectores, ya que estos tienen que orientarse siempre hacia el Norte, por lo que en situaciones como la de la Figura 10, se deberá emplear una instalación general con una estructura superpuesta en la cubierta.

En la Figura 11, el colector se coloca paralelo a la cubierta, situándose por detrás de las paredes frontales para evitar que las mismas generen sombra al sistema termosolar.

Después de analizar las diferentes maneras de instalar los colectores solares en las viviendas según su orientación, se elige un sector del conjunto habitacional para la integración de los sistemas solares y obtener un escenario del proyecto (Figura 12).

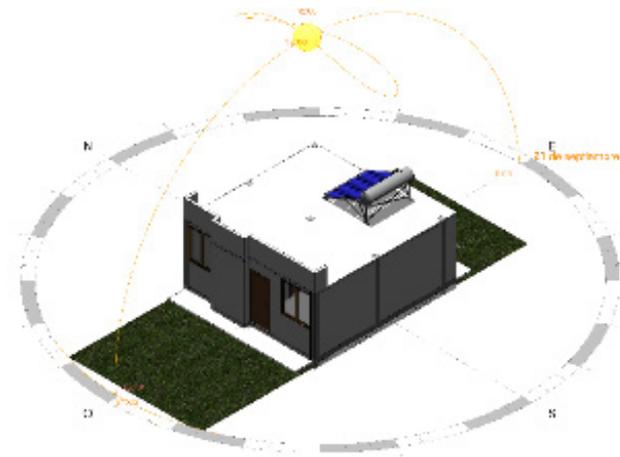


Figura 9. Integración general propuesta para la vivienda de una planta e instalación de ACS

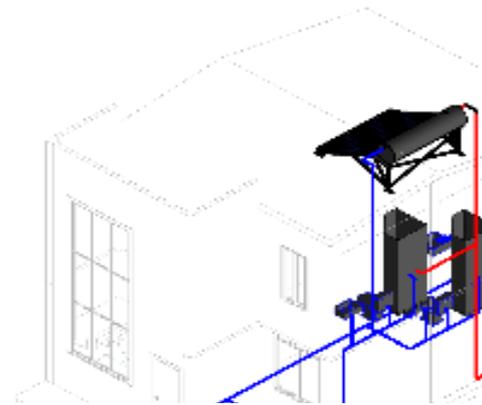
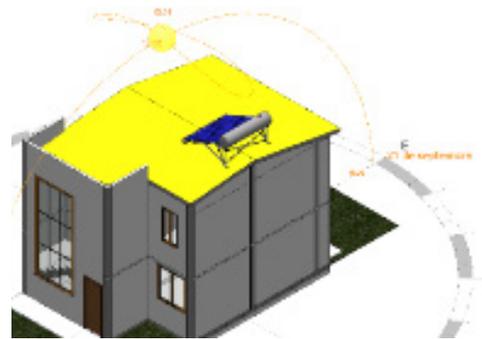


Figura 10. Instalación general en la vivienda de dos plantas e instalación de ACS

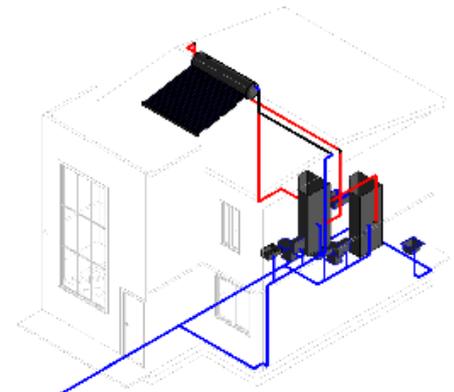
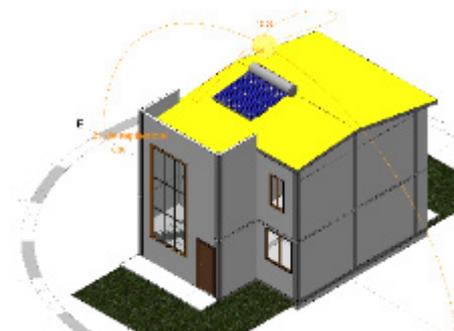


Figura 11. Superposición arquitectónica en la vivienda de dos plantas e instalación de ACS



Figura 12. Escenario de la instalación de colectores solares Heat Pipe en sector del conjunto Ciudad Victoria

CONCLUSIONES

Mediante el método F-Chart se determina que el colector Heat Pipe tiene un gran rendimiento en la ciudad de Loja, lo que demuestra la factibilidad de uso de este sistema para la obtención de ACS en “Ciudad Victoria”, una alternativa más ecológica y económica comparada con la ducha eléctrica y el calefón de gas. En cuanto al gasto anual, el consumo de energía eléctrica de apoyo al colector solar es mínimo, siendo cinco veces menor que el gasto producido por la ducha eléctrica.

A pesar de que la demanda energética solar duplica la demanda de electricidad requerida por una ducha, ésta resulta más económica. Se descarta el GLP, ya que sin subsidio su precio sería demasiado elevado y causaría un gran impacto económico en las familias y las emisiones promedio por hogar superan la media tonelada.

Por lo tanto, después de obtener resultados positivos del cálculo de la fracción solar del colector en el sector

“Ciudad Victoria” y de la gran acogida que tendría este sistema por sus habitantes, el Estado debería plantear soluciones a este problema que actualmente afecta al

medio ambiente y a la economía del país, a través de una política energética en consonancia.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Canseco, M. (2010). Energías renovables en América Latina. Fundación Ciudadanía y Valores. Madrid-España, 1-12.
- Centro Sur. (2018). Calcular consumo. Recuperado de <http://www.centrosur.gob.ec/calcular-consumo>
- Duffie, J. A., y Beckman, W. A. (2013). Solar engineering of thermal processes (4.a ed.). New Jersey, EE.UU: John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9781118671603>
- Evans, J. M., y de Schiller, S. (2013). Promoción de Eficiencia Energética y Uso de Energía Solar en Vivienda del Ecuador. En Primer Congreso Internacional y Expo Científica (p. 8). Quito, Ecuador.
- GLOBAL WIND ATLAS. (2018). GLOBAL SOLAR ATLAS. Recuperado de <http://globalsolaratlas.info/>
- INAMHI. (2018). Anuarios meteorológicos. Recuperado de <http://www.serviciometeorologico.gob.ec/biblioteca/>
- Mateu, E., & Casal, J. (2003). Tamaño de la muestra. Rev. Epidem. Med. Prev, 1, 8-14. Recuperado de <https://>

www.academia.edu/33717140/TAMAÑO_DE_LA_MUESTRA

- Méndez Muñoz, J. M., Cuervo García, J. M., y Formación, B. V. (2010). *Energía solar térmica* (3.a ed.). Madrid, España: Fundación Confemetal.
- NASA. (2018). *NASA Prediction Of Worldwide Energy Resources*. Recuperado de <https://power.larc.nasa.gov/>
- Samaniego Ojeda, C., Hernández, O. H. Á., y Correa, J. M. (2016). Emisiones provocadas por combustión de GLP a partir de calefones en la ciudad de Loja y su posible relación con enfermedades respiratorias agudas (ERA's). *CEDAMAZ*, 6(1), 60-67. Recuperado de <http://revistas.unl.edu.ec/index.php/cedamaz/article/view/62>
- VIVEM-EP. (2013). *Empresa pública municipal de vivienda de Loja Vivem-Ep. Quienes somos*. Loja, Ecuador. Recuperado de http://www.loja.gob.ec/files/quienes_somos.pdf
- WWF. (2014). *Líderes en energía limpia: Países top en energía renovable en Latinoamérica*. Gland, Suiza. Recuperado de http://awsassets.wwf.es/downloads/tabare_lideres_en_energias_limpias_baja_r.pdf
- Zalamea León, E., y García Alvarado, R. (2014). *Diseño arquitectónico integrado de sistemas solares térmicos en techumbres de viviendas*. *Arquitectura y Urbanismo*, 35(3), 18-36. Recuperado de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-58982014000300003
- Zorraquino, J. V. M., San José, R. G., de Subijana, R. L., y Casado, J. M. (2004). Minimización de riesgos de legionelosis en las instalaciones de ACS solar. *DYNA*, 79(7), 41-45. Recuperado de <https://www.revistadyna.com/Articulos/Ficha.aspx?idMenu=a5c9d895-28e0-4f92-b0c2-c0f86f2a940b&Cod=1199&codigoacceso=bd7e8338-d542-408e-aca6-7d2269dfdc2>

DEVELOPMENT AND VALIDATION OF A HIGH-PERFORMANCE LIQUID CHROMATOGRAPHIC METHOD FOR THE DETERMINATION OF PINOCEMBRIN IN LEAVES OF PIPER ECUADORENSE SODIRO

Santiago Ojeda-Riascos^{1*}, Mónica Valdivieso¹, James Calva¹, Vladimir Morocho¹, Gianluca Gilardoni¹, Eduardo Valarezo¹, and Omar Malagon¹

¹Universidad Técnica Particular de Loja, Departamento de Química y Ciencias Exactas Loja, Ecuador.

*Autor para correspondencia: esojeda@utpl.edu.ec

Recibido: 2019/06/28

Aprobado: 2019/11/30

DOI: <https://doi.org/10.26621/XV21.2019.12.A05.PUCESI.2550.6684>

RESUMEN

El pinocembrin es una flavanona que muestra actividades farmacológicas y biológicas tales como: antifúngicas, anticancerosas, antimicrobianas, antiinflamatorias y antioxidantes. Este metabolito secundario ha sido identificado en varias plantas pertenecientes a la familia Piperaceae. La planta Piper ecuadorensis es un arbusto nativo utilizado en medicina tradicional por curanderos de la comunidad indígena Saraguro de Ecuador. Por lo tanto, debido a su importante actividad, es necesario desarrollar y validar un método empleando el HPLC-DAD con la finalidad de determinar el pinocembrin en los extractos de las hojas de Piper ecuadorensis. El método utilizó una columna BDS Hiperisil C-18 (5 µm, 4,6x250 mm i.d.) con la mezcla de acetato de amonio (0.01 M) y metanol (35:65 %, v/v) como fase móvil a una velocidad de flujo de 1 mL / min y la detección fue por UV a 290 nm. Los parámetros de linealidad, exactitud, precisión, recuperación, límite de detección y límite de cuantificación del método en HPLC fueron logrados. El método mostró una excelente linealidad ($r^2 = 0.9998$) y la recuperación fue de 100.70-101.33%. También se alcanzó un alto grado de exactitud y precisión (RSD inferior al 3% para intraday e interday). Así, se desarrolló y validó con éxito un método simple, preciso, seguro y reproducible en el HPLC para analizar el pinocembrin en extractos de las hojas de Piper ecuadorensis.

Palabras clave: HPLC-DAD; medicina tradicional ecuatoriana; Piperaceae; pinocembrin; *Piper ecuadorensis*

ABSTRACT

Pinocembrin is a flavanone that shows pharmacological and biological activities such as antifungal, anticancer, antimicrobial, anti-inflammatory, and antioxidants. This secondary metabolite has been identified in several plants belonging to the Piperaceae family. Piper ecuadorensis is a native shrub used in traditional medicine by healers from the Saraguro indigenous community of Ecuador. Therefore, due to its important activity, it is necessary to develop and validate a method by using HPLC-DAD in order to determine the pinocembrin in Piper ecuadorensis leaf extracts. The method utilized a BDS Hiperisil C-18 column (5 µm, 4.6x250 mm i.d.) with the mixture of ammonium acetate (0.01 M) and methanol (35:65 %, v/v) as the mobile phase at a flow-rate of 1 mL/min, and detection was by UV at 290 nm. The parameters of linearity, accuracy, precision, recovery, detection limit, and quantitation limit of the HPLC method were achieved. The method showed excellent linearity ($r^2 = 0.9998$), and the recovery was 100.70-101.33%. A high degree of accuracy and precision (RSD less than 3% for intraday and interday) were likewise reached. In this way, a simple, precise, accurate and reproducible HPLC method was successfully developed and validated to analyze pinocembrin in Piper ecuadorensis leaf extracts.

Keywords: HPLC-DAD; traditional Ecuadorian medicine; Piperaceae; pinocembrin; *Piper ecuadorensis*

INTRODUCTION

Piper ecuadorense Sodiro is a native shrub belonging to the family Piperaceae. The plant is popularly known as “matico de monte” (Ramírez et al., 2013). In Ecuador, *Piper ecuadorense* leaves have traditionally been used in aqueous infusion for the treatment of hangover, as a disinfectant or in wound healing (Tene et al., 2007). Moreover, the herbal healers from the Saraguro indigenous community, use the aerial parts in mixture with others plants for the treatment of “mal del aire” (Andrade et al., 2009). Actually, Few studies and no phytochemical works have been reported *Piper ecuadorense* Sodiro for until now (Ramírez et al., 2013). Only two flavanones, pinostrobin and pinocembrin have been reported as the active constituents, exhibiting antifungal activity (Ramírez et al., 2013). In addition, pinocembrin exhibited anticancer (WANGKANGWAN et al., 2009), antimicrobial (Guo et al., 2015), anti-inflammatory (Rasul et al., 2013) 7-dihydroxyflavanone, and antioxidant activities (Sala et al., 2003).

Actually, the validation of an HPLC method is required for quantitative determination of drugs and their metabolites in biological samples and ensures that this methodology is selective, accurate and reproducible (Merken and Beecher, 2000; U.S. Department of Health and Human Services Food and Drug Administration et al., 2018) when finalized, will represent the Food and Drug Administration's (FDA's). It is necessary to validate analytical methods to yield reliable results which can be satisfactorily interpreted (Shah et al., 2000) Bioequivalence and Pharmacokinetic Studies (Conference held in Arlington, VA, December 3–5, 1990 and the report published in *Pharmaceutical Research*, 9: 588-592, 1992.

In this study, the quantitative determination of pinocembrin by HPLC-DAD was developed. The parameters linearity, accuracy, precision, recovery, limit of detection and limit of quantitation of the HPLC method were achieved. Thereby, the developed method is expected to be applicable in the analysis of pinocembrin in extracts of plant material and to determinate the degradation percentage of this compound in pharmaceutical forms.

MATERIALS AND METHODS

Chemicals and reagents

Analytical standards like pinocembrin (purity >95%) (Figure 1a) and chrysin (purity >97%, internal standard) (Figure 1b), were purchased from Sigma-Aldrich (St. Louis, MO, USA). Ammonium acetate (purity ≥ 99.0%) (Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA) and methanol (J.T. Baker, USA) were of analytical grade.

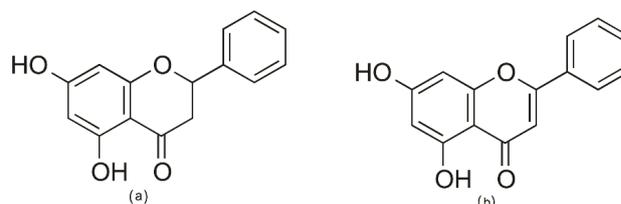


Figure 1. Structures of Pinocembrin (a) and chrysin (b)

Plant material

Piper ecuadorense leaves were collected in Zamora Chinchipe Province, Ecuador, in October 2009 (4° 7' 53.99" S, 78° 56' 28.30" W). The collection was authorized by the Ministerio del Ambiente de Ecuador (MAE) (N°001-IC-FLO-DBAP-VS-DRLZCH-MA). The plant material was identified by Bolívar Merino, “Reinaldo Espinosa” Herbarium, Universidad Nacional de Loja, Ecuador. A voucher specimen was deposited (herbarium specimen number PPN-pi-007) at the herbarium of the Universidad Técnica Particular de Loja, Loja, Ecuador.

Preparation of stock solutions and standards

Stock solutions of pinocembrin and chrysin (10 mg/50 mL each) were prepared by dissolving an appropriate amount in methanol and stored at 4°C in glass bottles until use. Working internal standard (I.S.) solution was 100 µg/mL. Individual working solutions were prepared in methanol and diluted to provide a series of the standard solutions of 0.5, 1, 10, 25, 50, 75, 100 µg/mL. These concentration ranges covered the concentrations expected in our experimental study. Calibration curves were constructed for the target analyte.

Sample preparation

Piper ecuadorense leaf extract (100 mg) was obtained as previously described by Ramirez et al., 2013. The extract was obtained from dried leaves of *P. ecuadorense* using ethanol. The extract was filtered and then evaporated under a 50 mbar absolute pressure at 37 °C. The dried extract was processed for the removal of sugars. The sugar free extract was directly separated by a preparative column chromatography, eluting with a n-Hex:EtOAc mixture increasing polarity gradient system. The fraction eluted with n-Hex:EtOAc 85:15 was pinocembrin.

HPLC analysis

HPLC analysis was carried out using an Alliance Waters 2695 series equipped with a 996 photodiode-array detector (PDA) and autosampler (Waters, Milford, MA, USA). Data

were acquired by the software Masslynx 4.1 (Waters). PDA spectra (200–600 nm scan range) were compared for pinocembrin and chrysin identification. Separation was achieved at 20°C on a BDS Hipersil C-18 column (5 µm, 4.6x250 mm i.d.). Mobile phase was composed of a mixture of 0.01 M aqueous ammonium acetate, pH 4.0, and methanol in a 35:65 % (v/v) ratio with the flow rate of 1 mL/min. The HPLC run time was 10 min. Sample injection volumes were 10 µL and detection was done by ultraviolet (UV) at wavelength 290 nm (Yang et al., 2009).

Validation of method

The guidelines for bioanalytical method validation in industry of the Food and Drug Administration (FDA) were followed (U.S. Department of Health and Human Services Food and Drug Administration et al., 2018) when finalized, will represent the Food and Drug Administration's (FDA's). Linearity, accuracy, intraday and interday precision, specificity, limit of detection (LOD) and limit of quantification (LOQ) were established.

Linearity validation

Calibration curves were plotted on three consecutive days, analyzing mixtures of each reference standard at seven different concentrations and plotting peak areas against concentration. The linearity of the detector response was determined by means of linear regression.

Accuracy and precision validation

The precision was established from the Piper ecuadorensis leaf extract samples through replicate analyses using three concentration of pinocembrin (1, 25 and 50 µg/mL). Intraday accuracy and precision were established by analyses of the group of standards in five replicates. Interday accuracy and precision were conducted in five replicates for three consecutive days. A calibration curve was prepared for each assay to determine the concentration of each sample.

Specificity validation

Peak identification was carried out by comparison with authentic standards, recording the UV spectrum of each peak. The UV spectra were taken at various points of the peaks to check peak homogeneity.

LOD and LOQ

Serial dilutions of reference standards were prepared with methanol and were then analyzed with the method. LOD and LOQ were obtained as the ratio of signal to noise equal to 3 and 10, respectively.

Recovery

Percent recovery of pinocembrin was calculated by relating the analyte and internal standard peak area ratios obtained from samples and the standard solutions at the same concentration.

Analysis of pinocembrin in Piper ecuadorensis extract

For HPLC, 10 mg of the extract were dissolved with 50 mL of methanol, followed by the addition of 0.5 mL of the I.S. The obtained solutions were filtered through a hydrophilic PVDF syringe filter (33 mm, 0.22 µm, Millipore, USA) and analyzed immediately in order to avoid possible chemical degradation. All sample assays were performed in triplicate.

RESULTS AND DISCUSSION

Method development

Appropriate conditions for quantitative determination of pinocembrin were determined as isocratic elution on C18 reversed-phase. The compound has a high UV absorption at 290 nm. This wavelength was used for quantification. Mixtures of aqueous ammonium acetate with methanol were tested as the mobile phase. The elution system was adequately set to separate the peaks at the baseline in 15 min (Figure 2a). HPLC method was similar to the previously reported method described by Yang et al., 2009 and is capable to quantify pinocembrin. The method is simple, selective and sensitive. The use of this method easily allowed the identification of pinocembrin in Piper ecuadorensis leaf extract presented in Figure 2b. Fitting chromatographic peak shapes and reliable retention times (t_R) for pinocembrin and chrysin (9.2 and 11.2 min, respectively) were achieved because doesn't exist other compounds interfering in the assay.

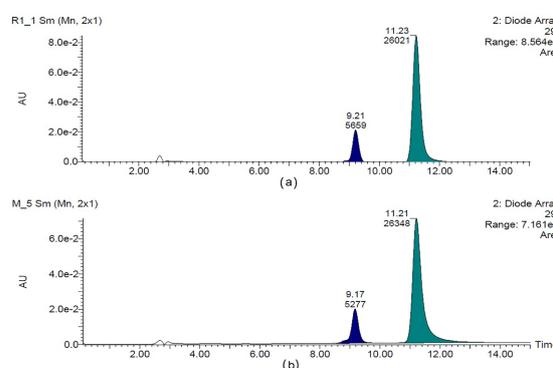


Figure 2. Representative HPLC-DAD (at 290nm) chromatograms of (a) pinocembrin (1 µg/ml) and chrysin (50 µg/ml); (b) real sample of Piper ecuadorensis leaf extract (50 µg/ml) and chrysin (50 µg/ml)

Validation of the analytical method

Linearity

The linear calibration curves were obtained by plotting the peak areas of pinocembrin versus the concentration at seven levels (0.5, 1, 10, 25, 50, 75 and 100 µg/mL). The correlation coefficient (r^2) and the equation for the calibration curve were calculated to be $y = 741x + 222.48$ ($r^2 = 0.9998$, $n = 7$). Excellent linearity was observed between peak areas and concentrations (Table 1). The results of LOD and LOQ analysis for pinocembrin indicate that the established HPLC method is sufficiently sensitive for the determination of this compound in Piper ecuadorense leaf extracts.

Table 1. HPLC calibration data for pinocembrin

Compound	Linear range (µg/mL)	Linearity (r^2)	Equation	t_R (min)	LOD/LOQ (µg/mL)
Pinocembrin	0.5-100	0.9998	$y = 740.999x + 222.478$	9.2	0.5/1.6

Accuracy and precision

The precision of this method was tested, performing intra- and inter-day multiple injections of a standard solution of pinocembrin. The accuracy of the analytical method was studied by spiking solutions of pinocembrin at concentrations of 1, 25 and 50 µg/mL into Piper ecuadorense leaf extracts, to evaluate recoveries of pinocembrin for this method.

The precision for concentrations of 1, 25 and 50 µg/mL of pinocembrin were 2.87, 1.14 and 1.46%, respectively. The accuracy of the pinocembrin concentration to three levels at 1, 25, and 50 µg/mL from the calibration curve was determined in five replicates. Table 2 illustrates the precision and accuracy range data from 1.14% to 3.08% and from 96.55% to 101.56%, respectively throughout the three concentrations.

Results suggest that this method is capable to quantify pinocembrin with high precision since the relative standard deviations (% RSD) were low. Furthermore, the low coefficient of variation (CV) values demonstrate precision of the method (Table 2). The specificity of the method was evaluated using UV absorption spectra at three points of each peak. Comparison of these spectra with those of authentic samples revealed that each peak was homogeneous and not overlapping with any impurity.

Table 2. HPLC Validation data: accuracy, precision, and recovery of pinocembrin

	Spiked concentration (µg/mL)		
	1	25	50
Accuracy and precision			
Intra-day precision			
Measured concentration (µg/mL)	0.82±0.21	24.92±0.36	50.02±0.83
Accuracy (%)	97.53±2.79	99.75±1.14	100.03±1.46
CV ^a (%)	2.87	1.14	1.46
Inter-day precision			
Measured concentration (µg/mL)	0.73±0.23	25.50±0.54	50.29±0.65
Accuracy (%)	96.55±2.97	101.56±1.69	100.50±1.14
CV (%)	3.08	1.66	1.14
Recovery			
Measured concentration (µg/mL)	1.05±0.10	26.17±0.31	50.75±0.81
Recovery (%)	100.70 (±1.38)	103.69 (±0.98)	101.33 (±1.42)

^a Coefficient of variation (CV, %) = $100 \times (\text{standard deviation/pinocembrin found})$.

LOD and LOQ

The LOD and LOQ were found to be 0.5 and 1.6 µg/mL, respectively, indicating the adequate sensitivity of the method (Table 1).

Recovery

Percent recovery values for the pinocembrin were from 100.70% to 101.33% and are illustrated in Table 2. The recoveries near to 100% indicate a good accuracy of this method.

Estimation of pinocembrin in Piper ecuadorense extract

The total pinocembrin content in the extract was found to be 6.64 (± 0.17) µg/mL. Additional peaks of some extract components did not appear in the chromatogram (Figure 2b), finding that pinocembrin and chrysin were the only compounds present in the chromatogram at the selected wavelength. Hence, there is not interference in the analysis with other components, showing the specificity of the method.

CONCLUSIONS

A simple, specific, precise, accurate and reproducible HPLC method was successfully developed and validated to analyze pinocembrin in Piper ecuadorense leaf extract.

The present work contributes to the scientific investigation on herbal drugs applied to traditional Ecuadorian medicine, as well as to quality control of the crude drug *Piper ecuadorense*. The proposed HPLC method showed good linearity, accuracy, and precision. In comparison to an earlier published method by Yang et al., 2009, the presented system focused on the analysis of pinocembrin in the *Piper ecuadorense* extract and achieved a better separation. This is the first report of a HPLC method to determinate pinocembrin in this plant.

Acknowledgements

This work was supported by the Universidad Técnica Particular de Loja project (PROY/IQA/0027).

REFERENCES

- Andrade, J.M., Armijos, C., Malagon, O., Lucero, H., 2009. Plantas Silvestres empleadas por la etnia Saraguro en la Parroquia San Lucas, Provincia de Loja, Ecuador, 1ra ed. Ediciones UTPL, Loja, Ecuador.
- Guo, W., Jiang, Y., Chen, X., Yu, P., Wang, M., Wu, X., Zhang, D., 2015. Identification and quantitation of major phenolic compounds from *Penthorum chinense* pursh. by HPLC with tandem mass spectrometry and HPLC with diode array detection. *J. Sep. Sci.* 38, 2789–2796. <https://doi.org/10.1002/jssc.201500303>
- Merken, H.M., Beecher, G.R., 2000. Measurement of food flavonoids by high-performance liquid chromatography: A review. *J. Agric. Food Chem.* 48, 577–599.
- Ramírez, J., Cartuche, L., Morocho, V., Aguilar, S., Malagon, O., 2013. Antifungal activity of raw extract and flavanons isolated from *Piper ecuadorense* from Ecuador. *Brazilian J. Pharmacogn.* 23, 370–373. <https://doi.org/10.1590/S0102-695X2013005000012>
- Rasul, A., Millimouno, F.M., Ali Eltayb, W., Ali, M., Li, J., Li, X., 2013. Pinocembrin: A Novel Natural Compound with Versatile Pharmacological and Biological Activities. *Biomed Res. Int.* 2013, 9. <https://doi.org/10.1155/2013/379850>
- Sala, A., Recio, M.C., Schinella, G., Máñez, S., Giner, R., Cerdá-Nicolás, M., Ríos, J.-L., 2003. Assessment of the anti-inflammatory activity and free radical scavenger activity of tiliroside. *Eur. J. Pharmacol.* 461, 53–61. [https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/S0014-2999\(02\)02953-9](https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/S0014-2999(02)02953-9)
- Shah, V., Midha, K., Findlay, J., Hill, H., Hulse, J., McGilveray, I., McKay, G., Miller, K., Patnaik, R., Powell, M., Tonelli, A., Viswanathan, C., Yacobi, A., 2000. Bioanalytical Method Validation—A Revisit with a Decade of Progress. *Pharm. Res.* 17, 1551–1557. <https://doi.org/10.1023/a:1007669411738>
- Tene, V., Malagón, O., Finzi, P.V., Vidari, G., Armijos, C., Zaragoza, T., 2007. An ethnobotanical survey of medicinal plants used in Loja and Zamora-Chinchipec, Ecuador. *J. Ethnopharmacol.* 111, 63–81. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.jep.2006.10.032>
- U.S. Department of Health and Human Services Food and Drug Administration, Center for Drug Evaluation and Research (CDER), Center for Veterinary Medicine (CVM), 2018. Bioanalytical Method Validation Guidance for Industry.
- Wangkangwan, W., Boonkerd, S., Chavasiri, W., Sukapirom, K., Pattanapanyasat, K., Kongkathip, N., Miyakawa, T., Yompakdee, C., 2009. Pinostrobin from *Boesenbergia pandurata* Is an Inhibitor of Ca²⁺ -Signal-Mediated Cell-Cycle Regulation in the Yeast *Saccharomyces cerevisiae*. *Biosci. Biotechnol. Biochem.* 73, 1679–1682. <https://doi.org/10.1271/bbb.90114>
- Yang, Z., Liu, R., Li, X., Tian, S., Liu, Q., Du, G., 2009. Development and validation of a high-performance liquid chromatographic method for determination of pinocembrin in rat plasma: Application to pharmacokinetic study. *J. Pharm. Biomed. Anal.* 49, 1277–1281. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.jpba.2009.02.030>

EVALUACIÓN DE SOLUCIONES DE MICROALGAS (*Scenedesmus* sp) COMO BIOESTIMULANTE NATURAL EN EL CULTIVO HIDROPÓNICO DE LECHUGA (*Lactuca sativa*)

Moraima Mera¹, Edmundo Recalde^{1*}, Katherine Lema¹

¹Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra, Escuela de Ciencias Agrícolas y Ambientales

*Autor para correspondencia: erecalde@pucesi.edu.ec

Recibido: 2019/08/16

Aprobado: 2019/11/30

DOI: <https://doi.org/10.26621/XV21.2019.12.A06.PUCESI.2550.6684>

RESUMEN

Con el fin de realizar un primer aporte al uso de nutrientes provenientes de algas unicelulares se realizó un ensayo, cuyo propósito principal consistió en evaluar el aporte nutricional de algas unicelulares (*Scenedesmus* sp) vivas en una solución nutritiva que se utiliza comúnmente en hidroponía. Se evaluaron tres dosis de solución de microalgas como bioestimulante natural en la producción de lechuga (*Lactuca sativa*): en una concentración baja de algas (40×10^4 cél. ml⁻¹); media de algas (80×10^4 cél. ml⁻¹); y alta de algas (120×10^4 cél. ml⁻¹); el testigo fue una solución nutritiva sin la adición de microalgas. Se utilizaron algas provenientes del laboratorio de la Escuela de Ciencias Agrícolas y Ambientales en donde se realizó la producción microalgal para posteriormente añadir al sistema de producción hidropónico. Se utilizó un diseño de bloques completamente al azar, con cuatro tratamientos y tres repeticiones. Los bloques se colocaron en forma perpendicular a la luminosidad considerada como factor no controlable. Diariamente se evaluó la solución nutritiva hidropónica, se mantuvo un pH constante 6 a 7,3 y una conductividad eléctrica de dSm⁻¹. Al finalizar el ciclo de desarrollo se pesó las raíces y hojas. El análisis de varianza detectó diferencias significativas para los tratamientos ($p < 0.05$). Al finalizar el ensayo, el promedio de peso aéreo por planta fue de 34.3 g. para el testigo (sin adición de solución de microalgas), mientras que para la solución de microalgas alta (120×10^4 cél. ml⁻¹) fue de 46.32 g. Por todo ello, se puede determinar que el uso de soluciones de microalgas vivas durante el ciclo de desarrollo de lechuga hidropónica provoca un incremento en la producción de lechuga sin afectar a la solución hidropónica ni tampoco a la planta.

Palabras clave: Hidroponía, microalgas, bioestimulante, activador biológico, *Scenedesmus* sp.

ABSTRACT

In order to make a first contribution in the use of nutrients coming from unicellular algae, a test was realized, its main purpose consisted on evaluate the nutritional contribution of live unicellular algae (*Scenedesmus* sp) in a nutritive solution that is commonly used in hydroponic. Three doses of microalgae solution were evaluated as a natural bio stimulant in the lettuce production (*Lactuca sativa*): in a low concentration of algae (40×10^4 cel. ml⁻¹); medium concentration (80×10^4 cel. ml⁻¹); and high (120×10^4 cél. ml⁻¹); the witness was a nutritive solution without microalgae addition. There were used microalgae from the laboratory of Agricultural and Environmental Sciences School where the microalgae were produced to add them to the hydroponic production system later. A completely randomized block design was used in four treatments and three repetitions. The blocks were placed perpendicularly to the luminosity considered as a non-controllable factor. The hydroponic nutritive solution was evaluated daily, the pH was constant 6 to 7,3 and the electrical conductivity was 1,7 a dSm⁻¹. At the end of the development cycle, the roots and leaves were weight. The variance analysis detected significant differences for the treatments ($p < 0.05$). At the end of the essay, the aerial weight average per plant was 34.3 g. for the witness (without microalgae solution addition), while for the high microalgae solution (120×10^4 cel ml⁻¹) was 46.32 g. Therefore, the use of live microalgae solutions during the hydroponic lettuce development cycle provokes a lettuce production increase without affecting the hydroponic solution or the plant.

Keywords: Hydroponics, microalgae, biostimulant, biological activator, *Scenedesmus* sp.

INTRODUCCIÓN

El interés por el uso de materiales biológicos provenientes de microalgas está permitiendo que dentro del desarrollo agrícola se involucren productos amigables con el medio ambiente, dando alternativas para suplir necesidades nutricionales de las plantas y disminuir el uso de fertilizantes químicos. Una de estas características es aprovechar las algas unicelulares como bioestimulantes dentro de los aportes regulares de nutrición química en los cultivos hidropónicos.

La hidroponía nace como respuesta a la falta de suelos y del recurso hídrico para producir alimentos y, sobre todo, para obtener productos sanos y libres de contaminación. Se considera como una actividad amigable con el ambiente pues se regulan las necesidades de agua, suelo y nutrientes. No obstante, el uso de fertilizantes químicos en la nutrición hace que la actividad no sea ecológica en su totalidad.

Ciertos bioestimulantes de origen natural usados en agricultura son derivados de algas y basan su éxito en la recuperación de los elementos hormonales o nutricionales de los cultivos acuáticos, para ser aplicados en los cultivos agrícolas. La bioestimulación apunta a entregar pequeñas dosis de compuestos activos para el metabolismo vegetal, con el fin declarado de ahorrarle a la planta gastos energéticos innecesarios en momentos de estrés. De esta forma, se logra mejorar largo de brotes, cobertura foliar, profundidad de los sistemas radiculares, etc. (Reyes, 2009).

El cultivo en hidroponía es una alternativa para producir diferentes especies de plantas sin necesidad de usar el suelo, cubriendo todas las necesidades de los cultivos como son la luz, el agua, la temperatura y disponibilidad de nutrientes (Beltrano, 2015).

Es muy importante tomar en cuenta que el gasto del agua y fertilizantes químicos en este sistema disminuye gracias a la recirculación de la solución nutritiva disponible, obteniendo ahorros de hasta 30%, por lo que se inhibe un impacto directo de infiltración de sales, elementos que van directamente a mares y ríos, según lo menciona Gutiérrez (2011).

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se llevó a cabo en la Granja Experimental de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra (PUCESI), localizada en la Ciudad de Ibarra (Figura 1).



Figura 1. Invernadero de la Granja experimental PUCESI.

Diseño experimental

Se utilizó un diseño de bloques completamente al azar con cuatro tratamientos. Los bloques se ubicaron en forma perpendicular al factor no controlable (luminosidad) debido a que el invernadero se encontraba ubicado junto a una loma. Para determinar el mejor tratamiento se utilizó una comparación de medias Tukey ($p \leq 0.05$).

Los tratamientos utilizados fueron los siguientes:

- T1: solución hidropónica común (Testigo).
- T2: solución hidropónica común + Solución de algas baja: 40×10^4 cel ml^{-1} .
- T3: solución hidropónica común + Solución de algas media: 80×10^4 cel ml^{-1} .
- T4: solución hidropónica común + Solución de algas alta: 120×10^4 cel ml^{-1} .

Producción de microalgas

La producción inicial de microalgas se desarrolló en botellones de 20 litros en un invernadero y con aireación constante. Posteriormente, para incrementar la producción de microalgas, se utilizó un sistema de paneles verticales con lámina geotextil en donde se colocó la solución de microalgas (Figura 2).



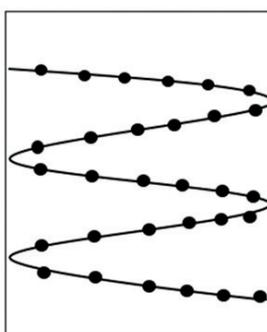
Figura 2. Producción de algas en botellones y paneles a nivel de invernadero.

Instalación del sistema hidropónico

Se utilizó un invernadero en donde se distribuyeron 12 unidades experimentales, cada una de ellas formada por 60 plantas, distribuidas la mitad con dirección al este y la otra con dirección al oeste. Cada unidad experimental contó con una bomba de recirculación y un tanque de almacenamiento de solución recirculante de 20 litros. La bomba sumergible distribuye la solución equitativamente tanto a las plantas ubicadas en el lado este como en el oeste (Figura 3).

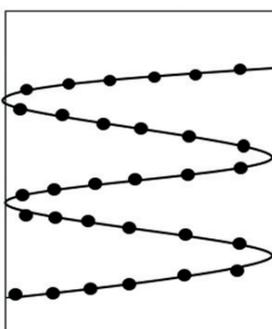
Se utilizó tubería PVC de 3 pulgadas, en la que se practicaron agujeros a una distancia de 15 cm en donde se colocaron las plantas. De las 60 plantas con las que cuenta la unidad experimental, se consideraron las plantas centrales como parcela neta (24 plantas por unidad experimental). No se consideró las plantas ubicadas en la primera y última hilera por considerarse efecto de borde (Figura 4).

Vista este



Número de plantas: 30
Número de filas: 5
Plantas por parcela neta: 12

Vista oeste



Número de plantas: 30
Número de filas: 5
Plantas por parcela neta: 12

Figura 3. Unidad experimental del sistema hidropónico



Figura 4. Instalación del sistema hidropónico.

Se utilizaron plantas de lechuga (variedad crespita) de 30 días de edad adquiridas en la empresa Pilonés La Victoria S.A (PILVICSA). En todas las unidades se utilizaron plantas homogéneas, cuyas raíces fueron lavadas cuidadosamente con el fin de eliminar el sustrato preexistente; dicho plantón se colocó en un envase plástico provisto de un agujero y espuma flex como soporte de la planta. Se colocaron en cada agujero del sistema hidropónico teniendo cuidado de ubicar las plantas de tal manera que sus raíces tuvieran contacto con el agua que se encuentra recirculando al interior de los tubos PVC.

Manejo del cultivo

Con el fin de mantener un pH óptimo en el sistema recirculante se reguló con ácido fosfórico (H_3PO_4) (6 a 7 que es el óptimo). La toma de muestras del medio recirculante se realizó todos los días en las primeras horas de la mañana. De la misma manera, se evaluó el consumo de agua desde el inicio hasta el final de la fase experimental. Este procedimiento se realizó por medición directa con una probeta (Figura 5).

En los primeros 3 días se colocó únicamente agua en el medio recirculante, con el fin de adaptar las plantas al medio; al cuarto día, se añadió una solución hidropónica común en todas las unidades experimentales de acuerdo a FAO (2003): fosfato mono amónico 34 g, nitrato de calcio 208 g, nitrato de potasio 110 g, por litro y otra solución de microelementos (sulfato de magnesio 61.5 g, sulfato de cobre 0.06 g, sulfato de manganeso 0.31 g, sulfato de zinc 0.15 g, ácido bórico 0.78 g, molibdato de amonio 0.0025 g, quelato de hierro 6.25 g).

Al noveno día se aplicaron las soluciones de microalgas (dosis baja, media y alta). Pasando un día, se realizó el conteo celular; para esto se utilizó un microscopio con una cámara de Neubauer. Las plantas se cosecharon a los 30 días y se procedió a realizar las mediciones de largo de hoja y raíz, peso de hoja y raíz y materia seca.

Se definieron 3 etapas: la etapa inicial en donde no se colocó soluciones de microalgas (hasta el día 8), etapa media en donde se desarrollan las microalgas (hasta el día 20), y la etapa final en donde disminuye la producción de microalgas (hasta el día 30).



Figura 5. Vista de tanques de recirculación con solución de microalgas y plantas listas para la cosecha de lechugas

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Potencial Hidrógeno (pH)

Durante la fase experimental el pH se mantuvo en un rango de 6 a 7.3. Así, los primeros días, en donde no se colocó solución nutritiva, el agua mantuvo un pH de 7.2; en el día 4^o se colocó la solución nutritiva, modificándose el pH a 6.3. En el día 9^o, luego de colocar la solución de microalgas, varió el pH por tratamiento, debido a la concentración celular. Posteriormente, se realizó una segunda aplicación de solución nutritiva (día 17), con el fin de suplir las necesidades nutricionales.



Figura 6. Evaluación de pH por tratamiento

Esta variable de control se logró mantener en un rango de 6 a 7, lo cual es lo ideal, pues, según registros de la FAO, el pH se mantiene en un rango óptimo de 6 a 8 para las microalgas, debido a que de este modo se favorece la absorción de cationes como el Ca^{++} y K^{+} . La disponibilidad de nutrientes varía de acuerdo al pH de la solución nutritiva, por eso es recomendable mantenerlo dentro de un rango que va de 5.5 a 7, en el cual los nutrientes están disponibles para la planta (Figura 6). Es además un rango favorable para el crecimiento de las algas, las mismas que proveerán con los nutrientes necesarios para el cultivo (Quevedo, Morales y Acosta 2007).

Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica se mantuvo en un rango de 1,7 a 2,8 dSm^{-1} durante la fase experimental. Como era de prever, la aplicación de soluciones de microalgas y el uso de solución nutritiva varía su conductividad eléctrica de acuerdo al tratamiento (Figura 7).

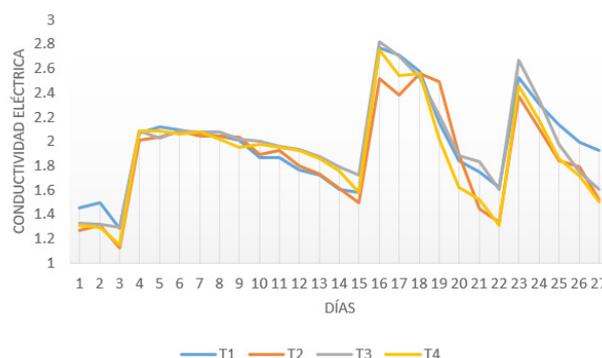


Figura 7. Evaluación de Conductividad eléctrica por tratamiento

Van der Boon (1990) encontró que la conductividad eléctrica en la solución nutritiva permite un mayor rendimiento en el cultivo de lechuga, oscilando entre 1.6 a 2.13 dSm^{-1} , que coincide con los valores de la solución que se manejó en el tratamiento de hidroponía del presente estudio (Barrios, 2004).

Cabe señalar que la mayor absorción nutricional para cultivo de lechuga, en condiciones de hidroponía, se da cuando la conductividad eléctrica en la solución tiene valores que oscilan entre 1.5 a 1.8 dSm^{-1} , ya que la presión osmótica que ejerce la raíz bajo estas condiciones favorece una mayor absorción de nutrientes (Hadid, A. et al, 1996).

Sólidos disueltos totales y concentración de sales

El rango de Sólidos Disueltos Totales (SDT) fue de 0,9

a 1,5 ppm, moviéndose en un rango que varió con la aplicación de la solución nutritiva y de las microalgas. La concentración de las sales en las unidades experimentales mantiene valores muy similares en todos los tratamientos, que cambian cuando se aplica la solución de microalgas; en ese momento se pueden observar diferencias entre ellos. El rango de la concentración de la sal fue de 0.8 a 1.4 ppm (Figuras 8 y 9).

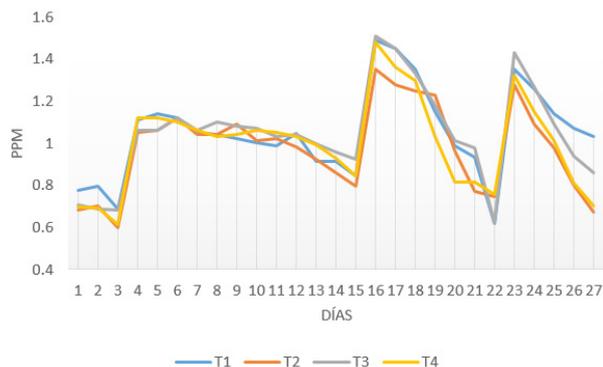


Figura 8. Evaluación de sólidos disueltos totales por tratamiento.

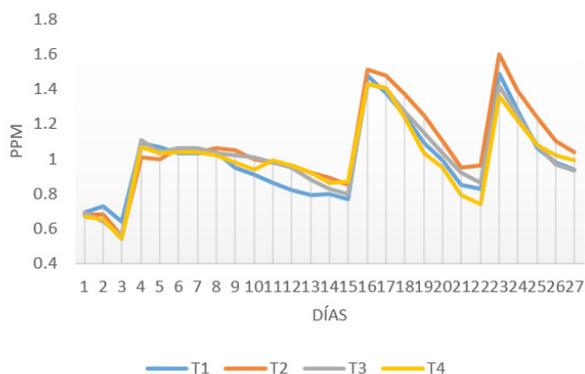


Figura 9. Evaluación de sal por tratamiento

Dichos resultados pueden explicarse debido a que las microalgas poseen propiedades reguladoras, por lo que liberan lentamente nutrientes y son ricas en micro elementos (Días, J. et al, 2016), todos ellos representados en la concentración de sales y los sólidos disueltos totales, que se incrementan al adicionar las concentraciones de *Scenedesmus* sp, como se indica en Quevedo, et al (2007).

Absorbancia

La evaluación de la absorbancia (calidad para absorber) antes de la adición de las soluciones de micro-algas fue relativamente baja, con valores cercanos a cero como se puede evidenciar en la figura 10; sin embargo,

una vez adicionada la solución, se incrementa la absorbancia debido a la concentración de sales disueltas, especialmente al contenido de cationes como calcio, magnesio, potasio, cobre, sodio, manganeso, entre otros (Quevedo et al., 2007).

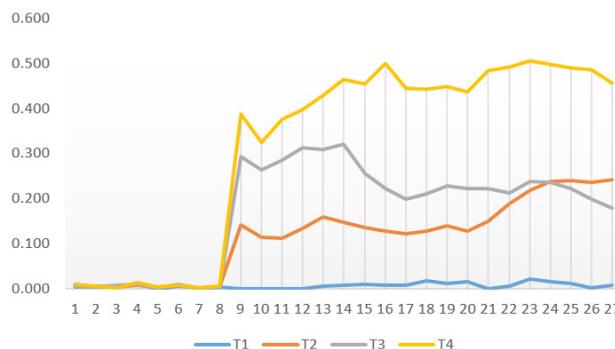


Figura 10. Evaluación de absorbancia por tratamiento

Consumo de agua

El consumo de agua en el sistema hidropónico se incrementó gradualmente (Figura 11), debido al crecimiento de las plantas y al crecimiento paralelo de las microalgas. Gutiérrez (2011) menciona que “el consumo uniforme de agua puede deberse a que las condiciones ambientales de la solución nutritiva (temperatura, pH y CE) fueron también más estables en este sistema”.

En este caso, la influencia de la luz afecta directamente a los cultivos de lechuga en relación a la dirección de su crecimiento y a su biomasa, y en el caso de las microalgas a su crecimiento poblacional, a la síntesis de proteínas, lípidos, carbohidratos, etc., por ende, de su importancia. El consumo de agua se incrementó pues gradualmente de acuerdo al crecimiento de las plantas; este aumento se aprecia desde el día 4 hasta la finalización del cultivo, con valores desde 0 a 4 litros por día y por unidad experimental.

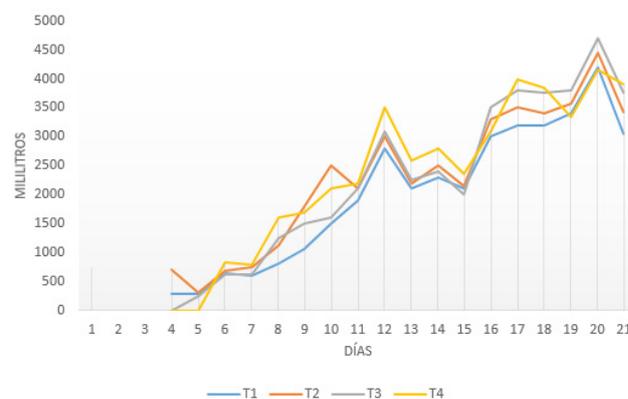


Figura 11. Evaluación de consumo de agua

Conteo celular

El conteo de microalgas por tratamiento representa una evidencia del crecimiento celular en la solución nutritiva sin afectar su desarrollo; de esta manera, en T1 no se encuentran microalgas mientras que en el tratamiento T4 las células llegan a 305×10^4 cél. ml⁻¹. La presencia de las microalgas en el cultivo hidropónico se revela como un medio nutritivo para las hojas, el tallo y raíces de plantas de lechugas, ya que existe un incremento significativo en la absorción de nutrientes (Gutiérrez, 2011), lo que coincide con los resultados de esta investigación. A partir de la adición de las microalgas sus fases de crecimiento duraron 20 días (Figura 12).



Figura 12. Crecimiento de microalgas por tratamiento

El análisis de varianza para el porcentaje de materia seca tanto de hojas como de raíces no detectó diferencias significativas entre los tratamientos (Figura 13).

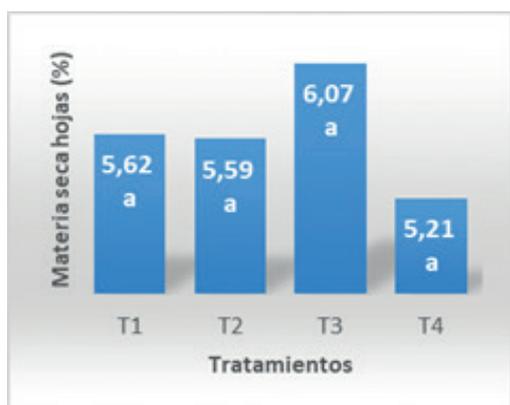


Figura 13. Materia seca por tratamiento (Prueba Tukey 5%).

En cuanto al peso de la raíz, se encontraron diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$) por lo que si el peso de la raíz es mayor mejorará su capacidad de absorción de nutrientes disponibles. El mejor tratamiento es T3, con un peso de 7,37 g. En el análisis de la variable

de largo de raíz no existen diferencias significativas entre tratamientos (Figura 14).

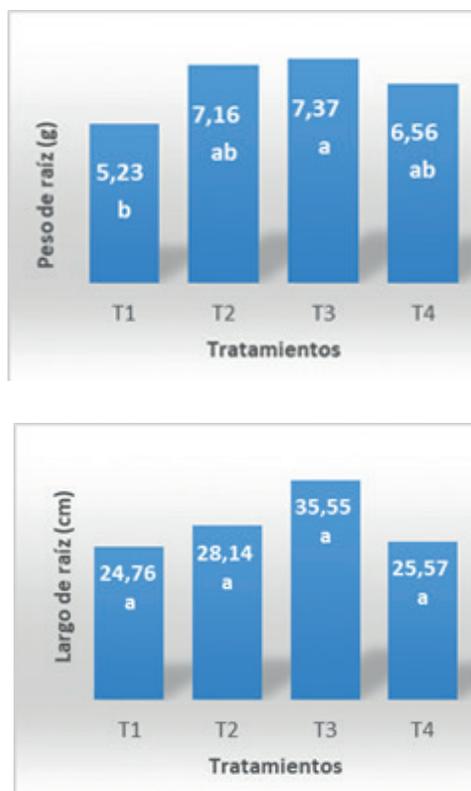


Figura 14. Peso y largo de raíz

Al evaluar los valores de peso de hoja de las unidades experimentales presentes en cada tratamiento, se evidenció que existen diferencias significativas. El testigo presentó un peso de 34,3g; se observa aquí una marcada diferencia con los tratamientos T2 (46,75 g); con el T3 (47,42 g) y con el T4 (cuyo peso fue de 46,32 g), que son los que tienen soluciones de microalgas como bioestimulante natural, por lo que, si el peso de la hoja es mayor, cabe inferir que su rendimiento mejora sustancialmente (Figura 15).



Figura 15. Prueba Tukey 5% en evaluación de peso hoja

Estos resultados se alinean a lo establecido por la literatura previa. Así, en general, según Brown y Saa (2015), el uso de sustancias tales como aminoácidos, extractos vegetales y/o bioestimulantes presenta efectos positivos sobre el crecimiento y rendimiento de las plantas. Para Nabti, Jha y Hartmann (2017) las algas son ricas en compuestos tales como lípidos, proteínas y carbohidratos, así como de fitohormonas. De la misma manera, Nedumaran T. (2017) coincide en las mismas afirmaciones. En tal motivo, se evidencia que el uso de la solución de microalgas mejora el rendimiento del cultivo de lechuga.

Con relación a la adición de algas en la solución nutritiva del medio de cultivo de lechuga (*Lactuca sativa*) se obtuvo significancia con relación al peso de hoja y de raíz; en los tratamientos T2 y T3 en el peso de hoja se obtuvo 46,7g y 47,4 g respectivamente, en relación a T1 que fue el tratamiento en el que no se incorporó microalgas con un valor de 34,3 g, y a T4 que tuvo un valor de 46,3 y fue el tratamiento en el que se adicionó una dosis alta de algas vivas, las cuales tuvieron un menor periodo de crecimiento y una etapa de muerte más temprana, lo que podría explicar los resultados. Todo ello coincide con lo señalado por Díaz, J., et al. (2016), en el sentido de que las microalgas vivas aportan efectivamente en el rendimiento del cultivo de lechuga en un sistema hidropónico, puesto que permite que las plantas absorban los nutrientes que estas proveen en su etapa de crecimiento.

De este modo, se confirma la similitud de los resultados con los realizados en otras especies; en las aplicaciones de bioestimulantes vegetales han mejorado el crecimiento, el rendimiento y la calidad del fruto en tomates (Zodape et al, 2011; Hernández, J. 2013), aumento de la fotosíntesis neta, tasa de transpiración y concentración intercelular de CO₂ en maíz y desencadenamiento de la floración temprana y el cuajado de frutos en varias plantas de cultivo (Khan, et al, 2009).

CONCLUSIONES

Las microalgas vivas (*Scenedesmus* sp) tienen un efecto positivo como bioestimulante natural en el cultivo hidropónico de lechuga (*Lactuca sativa*).

La producción de microalgas es de fácil acceso, pudiéndose desarrollar a través de paneles o sistema de botellones con oxigenación a partir de pequeñas dosis, con la ventaja de que al final son muy representativas en cantidad y eficiencia para la disposición en los cultivos requeridos.

Se estableció que el mejor tratamiento aplicado en este sistema fue el T3: solución hidropónica común con una

solución de algas a una concentración de 80 x 10⁴ cél.ml⁻¹ (solución media) ya que fue la dosis que obtuvo mejores resultados indicando que el rendimiento del cultivo de lechuga mejora significativamente.

El uso de estas soluciones es una opción como biofertilizante por ser una nueva alternativa para la nutrición del cultivo de lechuga (*Lactuca sativa*) en el sistema hidropónico, reduciendo el uso de fertilizantes químicos a gran escala y disminuyendo los costos de producción, ya que resulta más económico además de ecológico.

En el sistema hidropónico, la recirculación fue importante ya que permitió que la distribución de las algas sea homogénea, que exista una buena asimilación de nutrientes y que la luz solar sea captada de la mejor manera; por lo tanto, cabe concluir que las plantas en efecto absorbieron los nutrientes disponibles que fueron generados por las algas vivas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barrios, N. (2004). Evaluación del cultivo de lechuga *Lactuca sativa* L. bajo condiciones hidropónicas en Pachalí,. Universidad de San Carlos de Guatemala. Obtenido de: http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01_2071.pdf
- Brown P and Saa S (2015) Biostimulants in agriculture. *Front. Plant Sci.* 6:671. doi: 10.3389/fpls.2015.00671
- Beltrano, J. (2015). Cultivo en hidroponía. Universidad Nacional de La Plata: http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/46752/Documento_completo.pdf?sequence=1
- Díaz, J., et al (2016). The effect of foliar applications of a bio-stimulant derived from algae extract on the physiological behavior of lulo seedlings (*Solanum quitoense* cv. Septentrionale). Obtenido de: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-16202016000100003&lang=pt
- FAO. (2003). La huerta hidropónica popular Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación. Tercera edición Chile Obtenido de <http://www.fao.org/3/a-ah501s.pdf>
- Gutiérrez, J. (2011). Producción hidropónica de lechuga con y sin recirculación de solución nutritiva. Obtenido de: <https://chapingo.mx/horticultura/pdf/tesis/TESISMCH2011120908126441.pdf>
- Hadid, A. et al (1996). Electrical conductivity effect on growth and mineral composition of lettuce plants in hydroponic system. *Acta Horticulturae* 434 (434):59-66. DOI: 10.17660/ACTAhortic.1996.434.6
- Hadid, A. (1996). Electrical conductivity effect on growth and mineral composition of lettuce plants in hydroponic system. *Acta Horticulturae*.

- Hernández, J. (2013). Nutrición mineral en plantas. Obtenido de <https://cienciacebas.wordpress.com/2013/09/12/nutricion-mineral-en-plantas-i/>
- Khan, W. et al (2009). Seaweed extracts as biostimulants of plant growth and development. *Plant Growth Regul.* , 28:386-399.
- Nabti, E., Jha, B. y Hartmann, A. *Int. J. Environ. Sci. Technol.* (2017) 14: 1119. <https://doi.org/10.1007/s13762-016-1202-1>
- Nedumaran T. (2017) Seaweed: A Fertilizer for Sustainable Agriculture. In: Dhanarajan A. (eds) *Sustainable Agriculture towards Food Security*. Springer, Singapore
- Reyes, C. (2009). Evaluación de híbridos de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en hidroponía aplicando bioestimulante Jisamar en el Cantón La Libertad. Obtenido de: <http://studylib.es/doc/4774759/tesis-de-grado>
- Quevedo, et al (2007). Crecimiento de *Scenedesmus* sp en diferentes medios de cultivo para la producción de proteína microalgal. Facultad de Ciencias Químicas. Universidad de Antioquia.
- Van Der Boon, J. W. Steenhuizen & Eveliene G. Steingrover (1990) Growth and nitrate concentration of lettuce as affected by total nitrogen and chloride concentration, NH₄/NO₃ ratio and temperature of the recirculating nutrient solution, *Journal of Horticultural Science*, 65:3, 309-321, DOI: 10.1080/00221589.1990.11516060
- Zodape, S. (2011). Foliar application of seaweed sap as bios-timulant for enhancement of yield and quality of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *J. Sci. Ind. Res.*, 70:215-219.

SISTEMA PENITENCIARIO Y HACINAMIENTO: VULNERACIÓN DE DERECHOS HUMANOS A LAS PERSONAS PRIVADAS DE LIBERTAD DEL CENTRO DE REHABILITACIÓN DEL CANTÓN IBARRA

Amparo del Carmen Erazo Clerque¹, Gladys Rocío Torres Nicolalde^{1*}, Magdalia Maribel Hermoza Vinueza¹

Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra. Escuela de Jurisprudencia

*Autor para correspondencia: grtorres@pucesi.edu.ec

Recibido: 2019/03/31 Aprobado: 2019/11/30

DOI: <https://doi.org/10.26621/XV21.2019.12.A07.PUCESI.2550.6684>

RESUMEN

De acuerdo a la Constitución ecuatoriana, los seres humanos nacen libres e iguales en dignidad y por tal razón gozarán de los mismos derechos; así, en el capítulo segundo del Código Orgánico Integral Penal, (en adelante COIP). –Art. 12, se señala que las personas privadas de libertad gozarán de las mismas garantías y derechos que reconoce la Constitución de la República del Ecuador, de conformidad con los instrumentos internacionales de los derechos humanos. Sin embargo, la materialización de estos derechos dista de la realidad, tornándose una situación dramática la que viven las personas privadas de la libertad. Con este precedente, el objetivo de esta investigación se centra en indagar si existe vulneración de los derechos humanos de las personas privadas de libertad. Específicamente, el indicador de hacinamiento en el Centro de Rehabilitación Social del Cantón Ibarra, y la correspondencia al artículo 51 de la Carta Magna, que consagra derechos específicos en favor de las personas privadas de la libertad. Este trabajo es concebido con miras a invitar a un análisis profundo sobre la realidad del Centro de Rehabilitación Social de Ibarra, a fin de contribuir a mejorar la situación, crear políticas y programas encaminados a brindar una adecuada rehabilitación social de las personas privadas de la libertad. La metodología utilizada es fundamentalmente cualitativa; no obstante, también se contó con una fase de análisis cuantitativo a partir del procesamiento de varios instrumentos que contribuyen a perfilar el diagnóstico. El estudio del Centro de Rehabilitación de Ibarra concluye que sobrepasa su capacidad instalada, excediéndose en un 135,76% lo que genera una clara vulneración de derechos, pues de este modo no se cumple con la finalidad esencial de readaptación social de las personas privadas de libertad; por ende, no hay control por parte del organismo técnico creado para garantizar y evaluar la eficacia de las políticas ni cumplimiento de los fines del sistema.

Palabras clave: Derechos Humanos, personas privadas de la libertad, hacinamiento, garantías constitucionales, sistema penitenciario

ABSTRACT

According to the Ecuadorian Constitution, human beings are born free and equal in dignity and for that reason they will enjoy the same rights. Thus, in the second chapter of the Organic Integral Criminal Code, (COIP)- Art. 12, refers that liberty deprived persons will enjoy the same guarantees and rights recognized by the Constitution of the Republic of Ecuador, according with international human rights instruments. Nevertheless, the materialization of these rights is far from reality, becoming a dramatic situation the liberty deprived persons live. Taking this precedent into consideration, the objective of this research work is to investigate, if there is a violation of the human rights of people deprived from liberty. Specifically, the indicator of overcrowding in the Social Rehabilitation Center in Ibarra city, and the correspondence to article 51, of the Magna Letter that encloses specific rights in favor of everyone deprived from liberty. This work was conceived with a view of inviting to analyze deeply the reality of the Ibarra Social Rehabilitation Center, for the purpose of the current conditions in this center improve, and stablish policies and routed programs that give an adequate social rehabilitation to the prisoners. The methodology used is basically qualitative, nevertheless, there was a quantitative analysis phase from the processing of various instruments which help to contribute to outline the diagnostic. The research of the Ibarra Rehabilitation Center concludes that it exceeds its installed capacity, overpassing 135,76%, infringing prisoners' rights. Consequently, the social rehabilitation purpose do not accomplish its finality, therefore, there is no control for the technical organism created to guarantee and evaluate the efficient policies or the system accomplishment.

Keywords: Human Rights, people deprived of liberty, overcrowding, constitutional guarantees, penitentiary system.

INTRODUCCIÓN

Los sistemas penitenciarios a nivel de Latinoamérica enfrentan una notoria situación crítica en materia de hacinamiento y sobrepoblación, lo que conduce a la saturación en los servicios que brindan a los reclusos y por ende una clara vulneración a los derechos humanos. Carranza (2010) sostiene:

El modelo de privación de libertad en América Latina, atraviesa una profunda crisis, las cárceles han demostrado ser absolutamente incapaces de cumplir con el fin para el que fueron creadas, en el marco de los derechos humanos, estos son espacios de violencia, corrupción y violación sistemática de los derechos humanos caracterizándose por el hacinamiento, donde en un espacio que es para uno, cohabitan más de uno, hecho que en sí mismo, constituye una de las principales violaciones a los derechos de las personas privadas de libertad y del personal penitenciario.

La privación de libertad, aun en cárcel de oro, suele causar perjuicios irreversibles en la personalidad humana, que suele ser peor mientras más larga es la condena. En este sentido, es vox populi que la vida en la cárcel es dura de llevar, por las condiciones de precariedad en que ahí se vive, estar dentro de ella es estar privado de varios derechos como la atención digna de la salud, lo cual no deja de entrar en contradicción con los fines declarados de rehabilitación social. (Santamaria, 2010).

Algunos derechos fundamentales como la libertad de expresión, la limitación en su intimidad personal y familiar de las personas privadas de la libertad son vulnerados, derechos que al no ser observados correctamente en el sistema carcelario, conlleva la afectación del derecho a la vida, a la integridad personal, entre otros, que no pueden ser limitados porque forman parte de los derechos fundamentales establecidos en la Constitución. (Jara, 2017).

La Crisis del Sistema Penitenciario del Ecuador, establece que las precarias condiciones de vida de las personas privadas de libertad es una violación a los derechos humanos y no existe rehabilitación social cuando hay maltratos y torturas. (Nuñez, 2016).

El Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021 Toda una Vida, en el Eje 1: Derechos para Todos Durante Toda la Vida. establece "Garantizar una vida digna con iguales oportunidades para todas las personas, posesionando al ser humano como sujeto de derechos durante todo el ciclo

de vida, y promueve la implementación del Régimen del Buen Vivir, establecido en la Constitución de Montecristi (2008)". Sin embargo, la realidad del sistema penitenciario muestra cómo estos derechos han sido conculcados debido a la existencia de malas condiciones de infraestructura y, pésimos servicios para el disfrute de sus derechos básicos, poniendo en riesgo la salud y la vida con enfermedades propias del hacinamiento; así, como sostiene Zaffaroni, (2011), el problema de la delincuencia y, sobre todo, sus soluciones, requiere una investigación y un análisis mucho más profundo que el actual.

En el Ecuador, la magnitud en la cual se presenta este fenómeno es preocupante. La falta de políticas públicas y de emprendimiento, la marginalidad, la pobreza, acompañadas por las marcas de la injusticia social, son factores que han generado nuevas problemáticas para la sociedad. Como consecuencia de esto, han surgido nuevas prácticas y manifestaciones delictivas y se reproducen diferentes formas de violencia.

En febrero de 2019, la Defensoría del Pueblo ecuatoriano, considera que la situación del sistema de rehabilitación social en el país es insostenible.

En este sentido, la defensora Gina Benavides pide al Estado que se declare tal situación como de "emergencia social", en su informe, se sostiene que el hacinamiento llega al 79%, en los 23 centros de rehabilitación social del país, sin contar con los 3 regionales. "Es urgente intervenir los de Ibarra, Tulcán, Sucumbíos, Esmeraldas, Jipijapa, Guayaquil 1, Machala, Quevedo, Centro Penitenciario de Privados de la Libertad Quito y el CAI Machala". (Benavides, 2019).

El Comité Internacional de la Cruz Roja (1863) Agua, saneamiento, higiene y hábitat en las cárceles, ha calculado el espacio necesario para dormir en una cama en 1,6 m² y el espacio necesario para un retrete y una ducha en 1,2 m². Se recomiendan las siguientes especificaciones, como el espacio mínimo necesario de 3,4 a 5,4 m² por persona.

Para el alojamiento en celda individual se propone un mínimo de 5,4 m² por persona, este es el estándar que el CICR, sugiere a los estados miembros se aplique en el sistema penitenciario.

Por todo lo anteriormente expuesto, la escasa investigación actualizada de esta problemática carcelaria en la ciudad de Ibarra y la preocupación común de las autoras en torno a la situación precaria que viven actualmente los PPL, considera pertinente y necesaria esta investigación, tomando como base las garantías y derechos establecidos

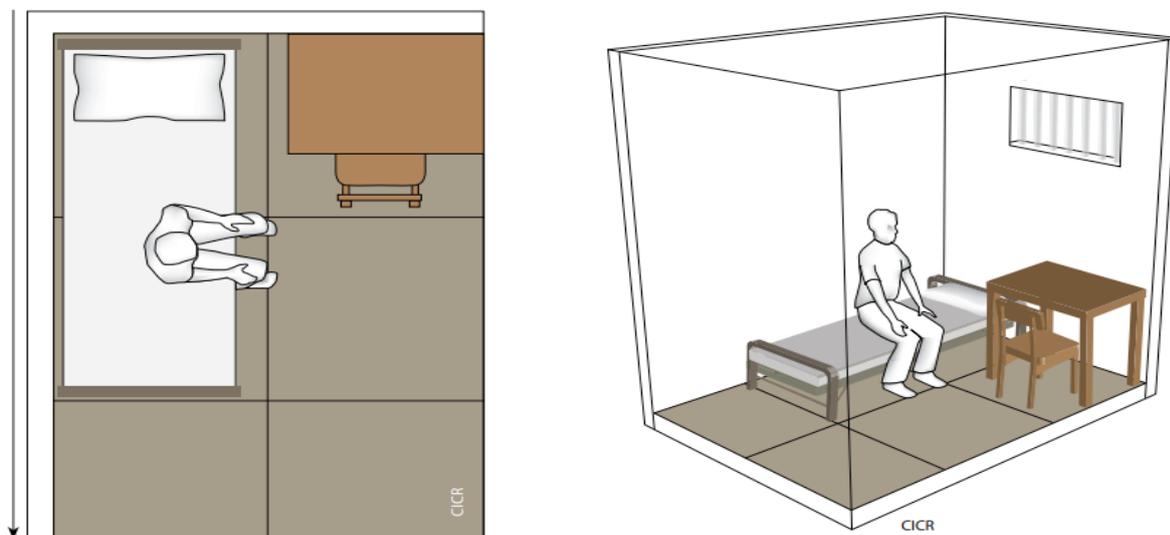


Figura 1. Estándar de celda establecido por el CICR

en la Constitución del Ecuador, el Código Integral Penal (COIP) y los instrumentos y normativa internacional de derechos humanos que amparan a las personas privadas de la libertad, a fin de invitar a una reflexión de los lectores e incidir al establecimiento de políticas públicas locales para que se minimice la problemática carcelaria de la Ciudad de Ibarra y, por ende, de otros centros del país en situación parecida.

MATERIALES Y MÉTODOS

La estrategia metodológica de la investigación es cualitativa, con la revisión del sustento teórico doctrinario de la problemática planteada; no obstante, se contó con una fase de análisis cuantitativo a partir del procesamiento de encuestas levantadas a 150 personas privadas de libertad, en el área de varones del Centro de Rehabilitación social de Ibarra; a ello, se sumó técnicas de investigación como la observación directa y comunicación oral a actores clave. Para determinar el tamaño de la muestra se recurrió a la tabla de Harvard; de este modo, para establecer una correcta representatividad, la población finita se establece en un total de 712 PPL, con un nivel de confianza del 95% , con probabilidad de 0,5, probabilidad en contra de 0,5 y un margen de error de 5%; el número poblacional del universo que se detalla, se obtuvo de la página oficial del Ministerio de Justicia, Derechos Humanos y Cultos, actualmente Ministerio de Gobierno.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las rejas y la seguridad de los guías penitenciarios es lo primero que se observa al cruzar, existe un olor repulsivo y ruidos atemorizantes. Múltiples brazos se balancean

ante las rejas de las puertas, el calor es sofocante, el olor insostenible por la falta de oxigenación. En el siguiente gráfico se podrá observar la infraestructura y distribución del Centro.



Figura 2. Representación gráfica del Centro de Rehabilitación Social "Varones" de Ibarra

Fuente: Google Maps 2019.

En la figura es fácil determinar el reducido espacio del Centro de Rehabilitación, que es de aproximadamente 3.113 m² según clave catastral 1001 03030235001000 del Ilustre Municipio de Ibarra; data de más de 100 años de construcción; exactamente, fue levantado en 1914.

Dichas instalaciones fueron adquiridas mediante comodato a la municipalidad de Ibarra; desde ese entonces al presente año, no ha existido énfasis o interés de re-potenciar o re-ubicar el centro y/o dar una vida digna al interno mediante adecuaciones.

Para graficar más esta situación del “hacinamiento” en el Centro, muchos de los privados de libertad tienen que, según sus testimonios, “dormir uno sobre otro, improvisar camas en los baños y en el suelo”; que se tiene constancia, además, de que se comercializa droga, se hieren, se agreden psicológicamente, surgen riñas fácilmente entre los compañeros de celda, existe discriminación y falta de convivencia.

En el área de la salud, la atención médica no abastece para todo el centro, ni mucho menos para cubrir las necesidades especiales de cada interno; existen detenidos con discapacidades físicas y enfermedades mentales, problemas de adicciones (drogas y alcohol) y, adultos mayores.

No obstante, es importante señalar que, en este último caso, a todos ellos, por pertenecer al grupo de “atención prioritaria”, se los mantiene aislados del resto de PPL. El Centro requiere de ayuda urgente, en palabras de los propios funcionarios; han aumentado los presos, pero no el personal administrativo, y mucho menos la adecuación física. Es decir, este establecimiento es una bomba de tiempo.

En lo que se refiere a la alimentación de los PPL, el Centro provee desayuno y almuerzo, por lo que adicional a ello tienen un espacio de expendio de alimentos (comodato) donde se puede adquirir alimentos o productos de primera necesidad; este procedimiento, se da bajo la modalidad de un depósito de \$40 dólares mensuales que realizan los familiares.

De la observación realizada en esta institución, se determina que el Centro no lleva una adecuada distribución de los desechos; viven por ello en medio de la basura y los olores a orina, (antihigiénico o, más exactamente, insalubre).

Se suma a esto la falta de abastecimiento de agua potable, pues los servicios sanitarios colapsan a las 6 am, cuando los internos pasan a hacer sus necesidades biológicas y de aseo.

Es alarmante observar las condiciones inhumanas, donde los detenidos están hacinados, pues la capacidad de instalación no da para la población carcelaria, como se observará en la siguiente tabla. A continuación, se desglosan:

Tabla 1. Ubicación, capacidad de instalación y población instalada.

NÚMERO DE CELDA	UBICACIÓN	CAPACIDAD DE INSTALACIÓN	POBLACIÓN INSTALADA
Celda 1	Patio 1	26	53
Celda 2	Patio 1	43	56
Celda 3	Patio 1	6	38
Celda 4	Patio 1	10	35
Celda 5	Patio 1	14	50
Celda 6	Patio 1	64	150
Atención prioritaria (adultos mayores)	Patio 1	13	35
Atención prioritaria (celda fortaleza)	Patio 1	13	38
Atención prioritaria (celda atenuados)	Patio 1	13	43
Atenuados Altos	Patio 2	48	138
Atenuados Bajos	Patio 2	55	53
Choferes	Choferes	23	23
TOTAL		302	712
CAPACIDAD			

Fuente: SNAI_CPL-ID – 2019-0053-OE; Centro de Privación de Libertad Masculino Ibarra (2019).

Como se puede observar en la Tabla 1, la capacidad de instalación del Centro de Rehabilitación Social es únicamente para 302 personas privadas de la libertad, sin embargo y en base a datos emitidos por el Ministerio de Gobierno (2019), la población instalada es de 712 PPL, es decir con el 135.76 % de hacinamiento penitenciario.

Esta situación entra en flagrante contradicción con el Derecho Internacional de los Derechos Humanos (DIDDHH), desarrollado en el artículo 12, capítulo segundo, del Código Orgánico Integral, donde se establece que las personas privadas de libertad gozarán de los mismas garantías y derechos que reconoce la Constitución de la República del Ecuador; así, la Carta Magna, en el artículo 51, reconoce los derechos de las personas privadas de la libertad y los ubica como grupo de atención prioritaria, el artículo 11 numeral 2 establece además que: “Todas las personas son iguales y gozarán de los mismos derechos, deberes y oportunidades”; asimismo, en el artículo 201 se señala la finalidad de la rehabilitación social. (Constitución, 2008).

De modo contrario al mandato, la materialización de estos derechos no se ha hecho efectiva, ya que la realidad es distinta a la deseada; existe en la actualidad un conjunto

de circunstancias materiales y situaciones específicas, que impiden, limitan o desconocen tal designio.

Adaptarse al sistema penal es duro, pero, ¿qué pasa con aquellos que no se adecuan a la realidad del sistema punitivo? Para estos casos, el Centro de Rehabilitación tiene una celda denominada “el calabozo”, también llamada eufemísticamente “celda de reflexión”, que es un cuarto oscuro, aislado, ocupado como especie de castigo, donde se encierra al privado de libertad que se rezaga o se enfrenta al sistema, hasta que se considere que se cumplen las condiciones necesarias para reintegrarlo al grupo.

Los demás internos se rigen a la propuesta de sistema penal y para hacer llevadero el tiempo de sentencia trabajan bajo la modalidad de las “tres erres” (rehabilitación, resocialización y reinserción), estos objetivos se articulan en cinco grandes ejes de acción, a saber:

- 1. Eje Educación:** Ofrecida por el centro penitenciario en conjunto con el Ministerio de Educación, pues se desarrolla en un espacio pequeño de 4m²; en estas condiciones se establece la escuela, impartiendo materias básicas de lengua y literatura, estudios sociales, ciencias naturales, matemática y alfabetización, cursos de inglés, valores y computación.
- 2. Eje Cultural:** Cursos de música, cine foro, lectura compartida, concurso de poesía, desarrolladas empíricamente; no cuentan con capacitación de profesionales para un óptimo aprendizaje y desarrollo.
- 3. Eje Cultura Física y Recreación:** Bailoterapia, samurái fight, fútbol, vóley, parchís que se llevan a cabo en los patios del Centro.
- 4. Eje Laboral:** Referentes a procesos productivos mediante cursos de tallado en madera, elaboración de productos en origami y estuco, bisutería, alpargatas, desarrollados en pequeñas casetas; hace falta publicidad para que sus productos sean vendidos fuera, pues estos se queden almacenados; de algún modo, no existe salida ni para los productos, ni para el potencial de los internos.
- 5. Eje de salud:** Se ocupa de la salud integral de los PPL, tanto en el aspecto físico, como el psicológico. Se dictan cursos de acuerdo a la referencia sintomatológica del delito (violencia intrafamiliar, delitos sexuales, droga, contravenciones de tránsito, etc.).

De las personas privadas de libertad encuestadas, el 88% se hallan sentenciados por un juez competente. El 12% de

los PPL no tienen sentencia; es decir, estas personas no están cumpliendo condena, sino que, están encerradas mientras se les procesa, en prisión preventiva.

El 52%, señalan que se han contagiado de algún tipo de enfermedad por el exceso de personas en las celdas; el catálogo de dolencias es amplio y variado; gripes, tos, infecciones, hongos, abscesos e infecciones, además de enfermedades de transmisión sexual.

El 20% de encuestados manifestaron que hay violencia psicológica por parte de sus compañeros, insultos, etc. También se diagnostica un importante grado de discriminación en el caso de extranjeros y, violencia física existente entre compañeros de celda.

El 64% de población carcelaria no tiene un espacio para la visita íntima, ya que no poseen una cama o cambuche¹ para la misma; por el contrario, la solución ofrecida por el centro es el tener que pagar una especie de arriendo, previo acuerdo con el compañero de celda.

De esta tabla se puede determinar que los delitos que aumentan la población carcelaria son: El tráfico de sustancias catalogadas sujetas a fiscalización, robo, violación y la actividad ilícita de recursos mineros.

Para el año 2019, la cifra de encarcelados ha seguido aumentando, junto con el crecimiento desmesurado del hacinamiento, pese a que la cartera de justicia, ha contribuido al mejoramiento de la infraestructura del sector penitenciario, con la construcción de grandes centros regionales de detención con un costo de 370 millones de dólares: Guayaquil, (Guayas), Latacunga (Cotopaxi), y Turi (Azuay). (Paladines, 2016).

Estar en la cárcel es estar privados de muchas cosas que no están castigadas, el sistema provoca fobia social por el acoso, insultos, robos, agresiones sexuales y hasta la muerte, se quebrantan muchos derechos inclusive la salud digna. (Santamaría 2010).

En definitiva, condiciones precarias de subsistencia, hacinamiento, pérdida de libertad y autoestima, soledad y miedo, son todos ellos elementos que configuran la experiencia cotidiana de las cárceles.

¹. Adecuación de un espacio para dormir.

Tabla 2. Estadísticas por delito del CRSI

ESTADÍSTICAS POR DELITO DEL CRSI	
DELITO	Nº DE PPL
ART. 220 TRAFICO ILÍCITO DE SUSTANCIAS CATALOGADAS SUJETAS A FISCALIZACIÓN	192
ART. 189 ROBO	225
ART. 156 VIOLENCIA FÍSICA CONTRA LA MUJER O MIEMBROS DEL NÚCLEO FAMILIAR	2
ART. 385 NUM. 3 CONDUCCIÓN DE VEHÍCULO EN ESTADO DE EMBRIAGUEZ	21
ART. 170 ABUSO SEXUAL	23
ART. 140 ASESINATO	15
ART. 144 HOMICIDIO	26
ART. 260 ACTIVIDAD ILÍCITA DE RECURSOS MINEROS	38
ART. 370 ASOCIACIÓN ILÍCITA	17
ART. 186 INCISO 1, ESTAFA	6
ART. 282 INCUMPLIMIENTO DE DECISIONES LEGITIMAS DE AUTORIDAD COMPETENTE	15
ART. 209 CONTRAVENCION DE HURTO	1
ART. 91 TRATA DE PERSONAS	1
ART. 159 VIOLENCIA CONTRA LA MUJER O MIEMBROS DEL NÚCLEO FAMILIAR	5
ART. 154 INTIMIDACION	2
ART. 185 EXTORSIÓN	4
ART. 152 LESIONES	7
ART. 379 LESIONES CAUSADAS POR ACCIDENTE DE TRÁNSITO	3
ART. 275 INGRESO DE ARTICULOS PROHIBIDOS	1
ART. 181 VIOLACIÓN DE PROPIEDAD PRIVADA	1
ART. 186 INC.1 ABUSO DE CONFIANZA	2
ART. 196 INC. 1 HURTO	4
ART. 141 FEMICIDIO	3
ART. 157 VIOLENCIA PSICOLÓGICA CONTRA LA MUJER O MIEMBRO DEL NÚCLEO FAMILIAR, NUM. 1	0
ART. 283 ATAQUE O RESISTENCIA	8
ART. 377 INC. 2 MUERTE CULPOSA	5
ART. 199 INC. 1 ABIGEATO	0
ART. 204 DAÑO A BIEN AJENO	1
ART. 512 y 513 CP. VIOLACIÓN	42
ART. 212 SUPLANTACION DE IDENTIDAD	0
ART. 304 TRÁFICO DE MONEDA	1
ART.360 INC 1 TENENCIA Y PORTE DE ARMAS	14
ART. 362 INC.1 TRÁFICO ILÍCITO DE ARMAS DE FUEGO, ARMAS QUÍMICAS, NUCLEARES O BIOLÓGICAS.	1
ART. 181 VIOLACIÓN DE PROPIEDAD PRIVADA	1
ART. 152 INC. 2 LESIONES	7
ART. 393 NUM. 4 CONTRAVENCIONES DE PRIMERA CLASE	1
ART. 394 NUM. 4 CONTRAVENCIONES DE SEGUNDA CLASE	0
ART. 396 INC. 1, NUM. 4 CONTRAVENCIONES DE CUARTA CLASE	1
ART. 202 RECEPCIÓN	2
ART. 230 INCUMPLIENDO DEL BENEFICIO	1
ART. 280 COHECHO	1
ART. 301 CONTRABANDO	1
ART. 297 ENRIQUECIMIENTO PRIVADO NO JUSTIFICADO	1
ART. 504.1 CP. ATENTADO AL PUDOR	8
ART. 278 PECULADO	2
TOTAL TERCERA SEMANA DEL MES MARZO 2019	712

Datos: SNAI_CPL-ID – 2019-0053-OE; Centro de Privación de Libertad Masculino Ibarra (2019).

CONCLUSIONES

La institución ha sobrepasado su capacidad total de ocupación, así de los datos entregados por el Centro de Rehabilitación, este excede en 135.76 %. En función de las encuestas, observación de campo, por el área destinada a celdas e instalaciones del Centro y de conformidad a los estaderos recomendados del Comité de la Cruz Roja Internacional (1863) Agua, saneamiento, higiene y hábitat en las cárceles que sugiere un mínimo de 5.4 m² para alojamiento de celda individual por persona, se puede determinar que su capacidad es únicamente para 200 personas, cuando en la realidad habitan 712 PPL, existiendo un excedente poblacional de 256 %, aspecto que genera hacinamiento al interior del mismo, lo que se convierte en la principal causa de vulneración y violación de los Derechos Humanos de los Privados de Libertad.

La infraestructura de más de cien años del Centro de Rehabilitación Social, no se encuentra en buenas condiciones ni es capaz por ende de brindar una rehabilitación digna y que garantice la reinserción a la sociedad, limitando así la calidad de vida de los PPL, e incumpliendo lo establecido por el Código Orgánico Integral Penal en su artículo 4, donde menciona la dignidad y titularidad de los derechos y se prohíbe expresamente el hacinamiento.

El Centro de Rehabilitación Social de Ibarra no cumple con los estándares aplicables al contexto penitenciario, en línea de las sugerencias que realiza el Comité Internacional de la Cruz Roja (1863), es importante en ese sentido resaltar que existen muchos pactos y declaraciones en el ámbito internacional encaminados a la promoción y protección de los Derechos Humanos en diversos aspectos; así, El Pacto Internacional de Derechos Civiles y Políticos (1966), Convención contra la Tortura y Otros Tratos o Penas Crueles, Inhumanos o Degradantes (1987), todos encaminados a la promoción y protección de los Derechos Humanos y que la Carta Magna del Ecuador en su artículo 426 manifiesta "... Los derechos consagrados de la Constitución y los instrumentos internacionales de derechos humanos serán de inmediato cumplimiento y aplicación".

Además, las personas privadas de libertad, no se encuentran separadas por niveles de seguridad, o por su situación jurídica (procesado - sentenciado), como lo estipula el Código Orgánico Integral Penal en el artículo 694, donde se establecen los parámetros para la respectiva ubicación y tratamiento de los PPL; no obstante, sí existe una cierta separación de acuerdo a las necesidades especiales de los internos.

Como conclusión final, puede decirse que en el país, la falta de políticas públicas para frenar el delito con mayor incidencia, la poca aplicación de medidas alternativas de privación de la libertad y el excesivo uso de la prisión preventiva, son factores que generan, sin duda alguna, que la población penitenciaria aumente aceleradamente hasta que el procesado tenga sentencia ejecutoriada y pueda cumplir con el encarcelamiento dictaminado por un juez, provocando del mismo modo un inadecuado tratamiento penal, un delito mínimo, que bien puede el infractor cumplir a través de medidas alternativas de prisión, trabajo comunitario, etc. promoviendo de este modo una verdadera rehabilitación social.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ávila S. (2010). La (in)justicia penal en la democracia constitucional de derechos: una mirada desde el garantismo penal. Quito: Ediciones Legales. Universidad Andina Simón Bolívar, Sede Ecuador.
- Benavides, G. (27 de febrero de 2019). Vistazo. Recuperado de: <https://www.vistazo.com/seccion/pais/actualidad-nacional/carceles-del-pais-en-eterna-emergencia>
- Benavides, G. (27 de febrero de 2019). Vistazo. Recuperado de: <https://www.vistazo.com/seccion/pais/actualidad-nacional/carceles-del-pais-en-eterna-emergencia>
- Comité Internacional de la Cruz Roja (2013). Agua, saneamiento, higiene y hábitat en las cárceles. Guía complementaria. Recuperado de: <https://www.icrc.org/es/doc/assets/files/publications/icrc-002-4083.pdf>
- Carranza, E. (2012). Situación penitenciaria en América Latina y el Caribe ¿Qué hacer? Recuperado de: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2089283>
- Carranza. (2012). Situación penitenciaria en América Latina y el Caribe. (E. Carranza, Ed.) Situación penitenciaria en América Latina y el Caribe, 31,65.
- Ecuador, Asamblea Nacional. Constitución de la República del Ecuador. (2008). Decreto Legislativo 0 Registro Oficial 449 de 20-oct-2008 Última modificación: 13-jul-2011.
- Ecuador, Asamblea Nacional. Código Orgánico Integral Penal. (10 de 02 de 2014) de Registro Oficial Suplemento No. 180. Aprobado mediante Ley. Cooperación de Estudios y Publicaciones.
- Ecuador, Asamblea Constituyente. (20 de 10 de 2008). Constitución de la República del Ecuador. Recuperado de http://www.asambleanacional.gov.ec/documentos/constitucion_de_bolsillo.pdf.
- Elkargo, C. d. (01 de enero de 2010). Derecho Penitenciario. Obtenido de Derecho Penitenciario: <http://www.>

- derechopenitenciario.com/util/masinformacion.asp
- Jara, H. L. (Enero-Junio de 2017). Estado garante del derecho a la salud de las PPL. Recuperado de file:///C:/Users/LCjj/Downloads/Dialnet-EstadoGaranteDelDerechoALaSaludDeLasPersonasPrivadas-6260865.pdf
- Ministerio de Justicia, Derechos Humanos y Cultos. (2019). Reporte mensual de las personas privadas de libertad. Recuperado de <https://www.justicia.gob.ec/reporte-mensual-de-personas-privadas-de-libertad/>
- Núñez, J. (2016). La Crisis del Sistema Penitenciario en el Ecuador . Programa estudios de la Ciudad- Flaxo, 6.
- Paladines, J. (2016). Castigar al enemigo, Criminalidad, exclusión y seguridad. Quito, Ecuador: Flacso Sede Ecuador.
- Santamaría, Á. (2010). La (in) justicia penal en la democracia constitucional de derechos, 2-40.
- Torres, G. R. (2018). El hacinamiento como causa de violación de los derechos humanos a las personas privadas de la libertad en el Cantón Ibarra. Tesis de pregrado. Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra. Ibarra.
- Zaffaroni, E. R. (2011). La Cuestión Criminal, Buenos Aires, Grupo Editorial Planeta.

AMBIENTE, ANTROPOCENTRISMO Y BIOCENETRISMO EN LA CONSTITUCIÓN DEL ECUADOR

Carliz de Jesús Mejías^{1*}, Bartolomé Gil Osuna¹, Priscilla Mendoza¹, Amparo Erazo¹

¹Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra, Escuela de Jurisprudencia, Ibarra, Ecuador

*Autor para correspondencia: cdmejias@pucesi.edu.ec

Recibido: 2019/05/09

Aprobado: 2019/11/30

DOI: <https://doi.org/10.26621/XV21.2019.12.A08.PUCESI.2550.6684>

RESUMEN

El objetivo de este artículo fue describir, desde la perspectiva jurídica y filosófica, el perfil ambiental de la Constitución ecuatoriana de 2008, a partir de la coexistencia del derecho a vivir en un ambiente sano y de los derechos de la naturaleza, que explica la fértil relación entre la visión antropocéntrica y la biocéntrica en el ámbito Derecho nacional. La importancia de este trabajo radica tanto en la valoración de la convivencia de ambas cosmovisiones, como en la reivindicación de nuestro sentido de responsabilidad ambiental; porque la capacidad de enmendar nuestras acciones frente a la naturaleza deriva, justamente, del lugar que ocupamos dentro del ámbito de la vida. Este antropocentrismo pertinente e inteligente es actualmente imprescindible en el campo de la acción y la reflexión sobre nuestra relación con el ambiente. En efecto, esta es la perspectiva ambiental de la Constitución del Ecuador, ampliada con la inclusión de los derechos de la naturaleza y la valoración de la biodiversidad.

Palabras clave: ambiente, antropocentrismo, biocentrismo, Constitución

ABSTRACT

The objective of this article was to describe, from the legal and philosophical perspective, the environmental profile of the Ecuadorian Constitution of 2008, based on the coexistence of the right to live in a healthy environment and the rights of nature, which explains the fertile relationship between the anthropocentric and biocentric vision in the national law area. The importance of this work lies both in the value of the coexistence of both worldviews, and in the claim of our sense of environmental responsibility. Because the ability to amend our actions against nature derives, precisely, from the place we occupy in life. This relevant and intelligent anthropocentrism is currently essential in the field of action and reflection on our relationship with the environment. Indeed, this is the environmental perspective of the Constitution of Ecuador, which is expanded with the inclusion of the rights of nature and the value of biodiversity.

Keywords: environment, anthropocentrism, biocentrism, Constitution

INTRODUCCIÓN

La relación entre el hombre y su medio natural ha sido objeto de varias lecturas dentro de las Ciencias sociales y, concretamente, en el ámbito del Derecho. Entre ellas destacan la visión antropocéntrica y la biocéntrica. La primera se fundamenta en la razón y voluntad libre del ser humano; mientras la segunda centra su interés en el concepto de vida en general, cuyos representantes han visto en el problema ambiental la oportunidad para condenar el antropocentrismo, por considerarlo responsable de la crisis ambiental; sin embargo, esta afirmación habría que matizarla y examinarla a partir de algunas consideraciones jurídicas y filosóficas.

El objetivo de este artículo fue describir la perspectiva ambiental de la Constitución ecuatoriana de 2008, cuya importancia radica, por una parte, en la valoración de la convivencia de ambas cosmovisiones y, por la otra, en la reivindicación de nuestro sentido de responsabilidad ambiental; porque la capacidad de enmendar nuestras acciones frente a la naturaleza deriva, justamente, del lugar que ocupamos dentro del ámbito de la vida. En este contexto, tanto el derecho a vivir en un ambiente sano, como los derechos de la naturaleza, constituyen el hilo conductor de este trabajo, cuyas consideraciones encuadran tanto en la línea de investigación PUCE (“Derecho, participación, gobernanza, regímenes políticos e institucionalidad”), como en el Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021- Toda una Vida (Objetivo 1: Garantizar una vida digna con iguales oportunidades para todas las personas (objetivo 1) y objetivo 2: Garantizar los derechos de la naturaleza para las actuales y futuras generaciones).

Según la Constitución ecuatoriana, la “naturaleza o Pachamama” es donde se reproduce y realiza la vida, cuyos componentes están representados por ciclos vitales, estructura, funciones y procesos evolutivos (artículo 71); mientras “ambiente”, según el Código Orgánico del Ambiente, “...es un 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” (Glosario). Desde esta perspectiva normativa, se puede distinguir la noción de “naturaleza y de “ambiente”; sin embargo, actualmente es evidente la huella humana en casi todos los espacios naturales, por lo que este trabajo considera que ambas nociones son equivalentes.

La relación del ser humano y su medio natural es uno de los temas más debatidos en el ámbito del Derecho, la Sociología, la Antropología y la filosofía, cuyas consideraciones, por lo general, concluyen condenando

al ser humano y descalificando al antropocentrismo de raíz neoclásica que, en el plano de la *epistemología*, sitúa al ser humano como medida y centro de todas las cosas, y en el plano de la *ética* defiende que los intereses de los seres humanos son aquellos que deben recibir atención moral por encima de cualquier otra cosa. Ahora bien, este trabajo centró su interés en un antropocentrismo pertinente e inteligente, el cual orienta nuestro sentido de responsabilidad con nuestra casa común.

MATERIALES Y MÉTODOS

El objetivo de esta investigación fue describir el perfil ambiental de la Constitución de 2008, cuyas reflexiones se realizaron a la luz de la perspectiva jurídica y filosófica, con apoyo de la visión social e histórica de la temática ambiental. Este trabajo documental tuvo un enfoque cualitativo y un nivel de profundidad descriptivo. En este sentido, este estudio se fraguó dentro de un marco general representado tanto por la relación del ser humano y su medio natural, como por la relevancia del interés ambiental en el siglo XXI. En este contexto, se expusieron consideraciones desde la cosmovisión antropocéntrica y la biocéntrica, que permitieron la reflexión y descripción de la perspectiva ambiental del ordenamiento jurídico nacional.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Desde la perspectiva jurídica, social e histórica, el interés ambiental es una de las prioridades del siglo XXI, cuya tendencia comenzó a evidenciarse en la década de los 70 del siglo pasado. A partir de allí casi todas las constituciones dictadas en el mundo incluyeron el derecho a disfrutar de un ambiente adecuado, con su correspondiente deber de salvaguardarlo y recuperarlo. La Constitución del Ecuador de 1978 incluyó por primera vez el interés ambiental, luego su reforma de 1983 reconoció el derecho de las personas a vivir en un ambiente sano, cuyo contenido fue ratificado y ampliado en la Carta Magna de 1998. Finalmente, la actual Constitución estableció, en nombre de interés humano y de la propia naturaleza, una protección integral del ambiente.

En efecto, la mayoría de los países han adaptado sus leyes al expansivo interés ambiental y, sin duda alguna, su tendencia es a ser un tema tan importante como el económico y el social, lo cual se evidencia en el intento de aplicar algunos correctivos tanto generales como particulares, orientados por el principio del desarrollo sustentable. En esta dirección, los países tienden a promover una gestión ambiental con sentido de responsabilidad; es decir, innovando y adecuando sus actividades a las expectativas jurídicas ambientales.

A partir del contexto descrito, se reflexiona sobre los principios antropocéntricos y biocéntrico, cuyas perspectivas tienen expresión jurídica en la Constitución ecuatoriana de 2008 y merecen algunas consideraciones. Actualmente, la relación hombre-medio natural tiende a reorientarse por el sendero de lo razonable, entendiendo que el antropocentrismo no conduce, necesariamente, a una actitud irresponsable frente al medio ambiente; porque si bien es cierto que la humanidad ha generado graves impactos ambientales, también es cierto que la propia humanidad ha creado diversos instrumentos para enfrentar las consecuencias de su propia centralidad y, sin duda alguna, el Derecho es uno de esos instrumentos antropocéntricos que ha reaccionado enérgicamente en defensa del ambiente (Mejías, 2009).

Antropocentrismo y biocentrismo

Sabido es que el hombre para poder sobrevivir, ha tenido que modificar o adaptarse a su medio natural, pero esa fuerte capacidad de adaptación (Carretón, 2018) también generó algunos desequilibrios que, de alguna manera, han afectado la calidad de vida y su propia existencia; sin embargo, como se ha dicho, es a partir de su propia centralidad o antropocentrismo inteligente, que ha comenzado a valorar su entorno y a orientarse por el principio de responsabilidad ambiental. Sin embargo, algunos representantes del biocentrismo proponen que esta visión debería predominar por encima del antropocentrismo (Barboza, 2016), porque centra su interés en el concepto de vida en general (Angulo, 2013). Desde este punto de vista, diera la impresión de que ambas visiones se excluyeran mutuamente; sin embargo, habría que esperar el resultado de la lectura del contenido ambiental de la Constitución del Ecuador.

Históricamente las dos visiones se han desarrollado a partir de la relación existente entre el hombre y el medio ambiente: la antropocéntrica reconoce al hombre como único ser con razón y voluntad libre; mientras la biocéntrica dirige su interés al concepto de vida o biodiversidad. Esta visión sostiene que el antropocentrismo constituye la fuente de nuestros problemas ambientales y propone el igualitarismo biosférico, es decir, el derecho igualmente compartido entre todas las especies frente al antropocentrismo, acusado de perjudicar a la propia "calidad de vida humana". Esta perspectiva, aunque exagerada, en algunos casos, pudiera tener cierto grado de fundamentación, como lo señala la Carta Encíclica *Laudato Si* (2015):

El antropocentrismo moderno, paradójicamente, ha terminado colocando la razón técnica sobre la realidad,

porque este ser humano «ni siente la naturaleza como norma válida, ni menos aún como refugio viviente. La ve sin hacer hipótesis, prácticamente, como lugar y objeto de una tarea en la que se encierra todo, siéndole indiferente lo que con ello suceda.

Ciertamente, debemos asumir la cuota de responsabilidad por nuestras actuaciones, sus consecuencias e impacto sobre nuestra casa común (Carta Encíclica, 2015). Sin embargo, ello no descalifica a priori la visión antropocéntrica, porque desde nuestra propia centralidad podemos reconciliarnos con el ambiente y asumir una conducta responsable e inteligente, como lo expresa Burg (1996):

[...]el antropocentrismo liberado de sus excesos es una opción filosófica que sigue siendo para la mayoría el punto de partida para la reflexión moral sobre el medio ambiente. De ahí que, lejos de constituir una secuela inaceptable de la cual tenemos que alejarnos, hay que reivindicarla como una posición perfectamente compatible con el respeto ambiental.

De todas maneras, es importante reflexionar sobre el lugar que ocupamos en el espectro de la vida y sus consecuencias ambientales. En esta dirección, Aguirre (2015) propone, desde la bioética, buscar puntos de encuentro entre ambas perspectivas. Ramírez (2018) sugiere resolver el dilema a partir de la base ética; mientras Salazar y Láziz (2017) reconocen que si bien no podemos dejar de lado nuestro antropocentrismo, sí podríamos modificar nuestra visión tradicional. En este sentido, asumiríamos una posición responsable ante la maravilla de la vida: "Los hombres movidos por el Espíritu, profesan su fe y su compromiso con la fuerza que da vida". (Universidad Pontificia de Salamanca, 2005).

En todo caso, el interés del hombre por su bienestar y por su misión trascendental, lo hacen altamente responsable con la protección del entorno natural. Su inteligencia y experiencia deben servir, justamente, para proteger su medio ambiente, porque el hombre, aunque está en la naturaleza y forma parte de ella, es distinto a todas las demás formas de vida. De ello da testimonio su propia existencia, la cual ha estado sometida a las posibilidades que ofrecía el medio natural y, a pesar de ello, sobrevivió. En efecto, esa información ha sido indispensable tanto para comprender la historia de la humanidad, como para interpretar la vida de los pueblos, cuyo registro tuvo que realizarse, inevitablemente, desde la perspectiva antropocéntrica (Fontana, 1999).

En todas las culturas la humanidad ha ocupado una cierta centralidad. En este sentido, Alonso (1989) sostiene que

“Parece cada vez más dudoso que podamos conocer el universo sin tener muy en cuenta nuestro propio puesto en él. Eso exige [...] un cierto número de conocimientos más sobre el hombre”. Los seres humanos no somos una especie más entre las otras, por lo que todo esfuerzo en ese sentido, conducirá a la humanidad, justamente, a la posición de donde se la quiere excluir. El derecho es una institución humana, destinada a regular relaciones jurídicas entre personas en conflicto o en situaciones dilemáticas. Por tanto, es imposible construir un sistema jurídico que no sea antropocéntrico, cualquier acción judicial o administrativa será siempre conducida por los seres humanos, aunque se haga en nombre de los demás seres naturales. (Burg, 1996).

En efecto, aunque formalmente haya reconocimiento de los derechos de la naturaleza, no puede ella y por sí misma ni iniciar una acción judicial, ni resolver un conflicto judicial y ser la auténtica beneficiaria de la satisfacción de sus intereses en la justicia. Sólo los humanos somos capaces de cumplir las funciones relativas al ejercicio de la justicia. (Burg, 1996). El biocentrismo es una proyección de nuestra capacidad intelectual para crear ficciones en el ámbito de las ciencias sociales, especialmente en el Derecho; pero no una alternativa o sustituto de la centralidad humana. De todas maneras, esa cosmovisión es una herramienta intelectual útil que atempera, de alguna manera, los excesos de la visión antropocéntrica.

En definitiva, si la tensa relación entre el hombre y su medio natural es, en buena medida, la causa del problema ambiental, es razonable que también sea al ser humano a quien le corresponda asumir su responsabilidad, buscando soluciones posibles y pertinentes, aunque sólo sea por el instinto natural de salvación colectiva. De allí que, actualmente, la mayoría de las constituciones articulen en su contenido normativo la dimensión económica, social y ambiental.

Antropocentrismo y biocentrismo en la Constitución ecuatoriana

La Constitución de 2008, siguiendo la tradición ambiental de las anteriores, ratificó el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir (artículo 14 CRE), el cual fue reforzado con el reconocimiento de los derechos de la naturaleza (artículo 71 y 72 CRE); ampliando de esta manera el principio de participación ciudadana en la defensa del derecho a vivir en un ambiente sano.

Angulo (2013) sostiene que el hombre es producto de la naturaleza, a la cual pertenece y dentro de ella se realiza como ser humano; pero que ha desviado su norte:

El ser humano se ha precipitado en un progresismo altamente tecnificado y de a poco va descubriendo que tiene que practicar otras cualidades, como las que practican las sociedades tradicionales que respetan la vida, pues se sienten ligadas y religadas al mundo, con un mundo de creencias propias de una religión natural.

Este autor, a partir de las críticas al antropocentrismo, considera que el biocentrismo es el principio pertinente para una protección integral del ambiente; sin embargo, reconoce que ambos principios pueden coexistir dentro del ordenamiento jurídico (Angulo, 2013). Bedón y Albán (2018) exponen que “la determinación de la naturaleza como sujeto de derechos responde a una corriente contrapuesta a la teoría antropocéntrica, la teoría ecocéntrica, la cual coloca al ambiente y a la naturaleza como el eje central de las cuestiones ambientales”; pero finalmente aclaran “...que no existe una controversia ya que el mismo texto constitucional establece claramente que la naturaleza es sujeto de los derechos previstos en ella, pero para los demás efectos la naturaleza sigue siendo un objeto de la relación jurídica”. Según estos autores, la Constitución reconoce la coexistencia del antropocentrismo y del biocentrismo en el Derecho nacional.

El constitucionalismo andino, según Zaffaroni (2018), parte del reconocimiento de los derechos de la naturaleza desde su preámbulo, cuando dice: “[...] Celebrando a la naturaleza, la Pacha Mama, de la que somos parte y que es vital para nuestra existencia [...]”, y después señala: “[...] Decidimos construir una nueva forma de convivencia ciudadana, en diversidad y armonía con la naturaleza, para alcanzar el buen vivir, el *sumak kawsay* [...]”. Desde esta perspectiva, no se limita solo a la protección de las personas, sino también al de toda especie viviente, incluso la naturaleza y los animales. De allí que Ávila-Santamaría y Carbonell (2012), manifiesten que tanto “el desarrollo evolutivo de los derechos, como el reconocimiento de la titularidad de los derechos de la naturaleza, es una etapa inevitable”.

Mantilla (2015) destaca los aportes del antropocentrismo a través del Derecho Internacional Ambiental, tanto en la conformación del desarrollo sostenible y otros principios ambientales, como en el reconocimiento de la dignidad humana y el derecho a un ambiente sano, uno de los principios más importantes en el ordenamiento jurídico. De manera que, sin duda alguna, hay razones para interpretar que el constituyente del 2008 quiso combinar la tradición con las nuevas tendencias jurídicas. En este caso, optó por compatibilizar nuestra vocación antropocéntrica

con visión biocéntrica, como una forma de atemperar cualquier extremo del primero, ya que frente al derecho a gozar de un ambiente sano está, necesariamente, el deber de protegerlo y restaurarlo, para lo cual todos estamos legitimados para actuar en procesos administrativos y judiciales y ambientales, como representantes de la naturaleza.

Aunque ambas cosmovisiones pueden coexistir, es innegable que la preocupación por el ambiente tiene profundas raíces en el instinto de supervivencia humana (Loperena, 1996), lo cual sería expresión de un antropocentrismo pertinente e inteligente, que amplía su perspectiva y conecta con la valoración del milagro de la vida. En todo caso, el Derecho no podía escapar de esta reflexión, porque es un resultado cultural y, por definición, una disciplina antropocéntrica: reguladora de conductas y siempre abierta a las nuevas tendencias, sin que ello implique sacrificar su patrimonio jurídico conceptual fundamental.

De todas maneras, es un lugar común tanto en el mundo académico, como en el político, afirmar que el antropocentrismo es la causa del problema ambiental por colocar al hombre en el centro del universo y, desde esta perspectiva, pretenden tener una fuerte razón para rechazar del legado judeo-cristiano. Los representantes de esta corriente sostienen que la solución sería superar o sustituir el antropocentrismo por el biocentrismo o el derecho o igualdad entre todos los seres vivos. Esta discusión, con sus matices, se proyectó al ámbito jurídico nacional; pero finalmente se expresó de manera razonable a partir del reconocimiento de los derechos de la naturaleza en la Constitución de 2008, los cuales ahora comparten igual rango jurídico con el derecho de toda la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, a fin de garantizar la sostenibilidad y el buen vivir, también llamado *sumak kawsay*.

En efecto, el reconocimiento de la naturaleza como sujeto de derecho amplió el principio de participación ciudadana en la protección del ambiente, especialmente en materia judicial. La sentencia N° 218-15-SEP-CC, dictada por la Corte Constitucional del Ecuador, fue la primera en declarar vulnerados los derechos de la naturaleza en una acción extraordinaria de protección, en virtud de los daños ocasionados por actividades mineras autorizadas por concesiones ambientales. De igual manera, la jurisprudencia constitucional amplió el alcance y contenido del derecho a vivir en un ambiente sano, según la sentencia N° 230-18-SEP-CC en el caso de la empresa petrolera Chevron. En todo caso, aunque la naturaleza haya sido reconocida como sujeto de derecho, es imposible obviar la perspectiva antropocéntrica y su

proyección natural en el ámbito jurídico.

CONCLUSIONES

La vida humana ha estado condicionada por las posibilidades ofrecidas, tanto por su entorno natural, como por su capacidad de adaptación y transformación, lo que permitió moldear el medio ambiente en función de sus propias necesidades; apareciendo así los primeros impactos ambientales de origen antrópico, que han creado situaciones hasta ahora perjudiciales a su propia existencia.

Ahora bien, esto no necesariamente tiene que continuar así, estamos a tiempo de modificar ese tipo de relación traumática por otra con predominio de un antropocentrismo inteligente y sabio, que permita tomar conciencia ambiental a partir del reconocimiento del riesgo que corremos como seres vivos. Justamente, nuestra posición en el ámbito de la vida nos responsabiliza ante nuestra casa común; en este sentido, el antropocentrismo es imprescindible en el ámbito de la acción jurídica y de la reflexión sobre nuestra relación con la naturaleza. De manera que pretender abolirlo, sería un absurdo y un desconocimiento de la naturaleza humana; porque el antropocentrismo no conduce, necesariamente, a una irresponsabilidad frente al ambiente, porque desde nuestra propia centralidad hemos diseñado políticas e instrumentos protectores del medio natural.

En todo caso, si el desequilibrio ambiental es un problema creado por nosotros los humanos, también a nosotros corresponde resolverlo. De allí que toda reflexión sobre el problema ambiental topará, necesariamente, con la perspectiva antropocéntrica, único soporte mental adecuado de nuestra responsabilidad frente a la naturaleza, en virtud del lugar que nos corresponde dentro del espectro de la vida; por lo que toda preocupación por el ambiente hunde sus raíces en el instinto de supervivencia humana. La Constitución del Ecuador da cuenta de ello cuando reconoce tanto el derecho a vivir en un ambiente sano, como los derechos de la naturaleza, lo cual significa la coexistencia del antropocentrismo y del biocentrismo en dicha Carta Fundamental; aunque conservando el protagonismo antrópico, porque nosotros ocupamos, sin discusión alguna, un lugar preeminente entre el resto de los seres vivos, por disponer de una inteligencia incomparable con la de cualquier otra especie. Desde esta perspectiva, el sentido de responsabilidad ambiental no solo es un compromiso con las presentes y nuevas generaciones, sino también con nuestra casa común y con el milagro de la vida: la máxima obra de trascendencia universal.

En definitiva, el reconocimiento constitucional de los

derechos de la naturaleza amplió, indudablemente, el principio de participación ciudadana en defensa del ambiente. En este contexto, también se fortaleció el derecho de las personas a vivir en un ambiente sano. En conclusión, la Constitución del Ecuador de 2008 tiene una perspectiva ambiental antropocéntrica pertinente e inteligente, ampliada por la valoración de la naturaleza. Siguiendo las palabras de Simón-Campaña (2013), el tema “derechos de la naturaleza” ha desarrollado una literatura jurídica cada vez más extensa, que la pondera como una contribución ecuatoriana al pensamiento jurídico mundial. No obstante, aún es pronto para tener una perspectiva completa, ya que la carga emotiva de lo “nuevo”, de lo “diferente” y de lo alternativo suele arrastrar una reacción entusiasta en muchos sectores de opinión, pero a la par suele provocar más de una resistencia.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguirre, J. (2015). La aportación de la hermenéutica a la bioética ambiental ante el dilema biocentrismo versus antropocentrismo en la era de la globalización. En: *Acta bioethica*, versión On-Line ISS 17n 1726-569X. Volumen 21, número 2. Santiago de Chile: Centro Interdisciplinario de Estudios en Bioética, Universidad de Chile. Recuperado de [https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S1726-569X](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S1726-569X&pid=S1726-569X).
- Alonso, M. (1989). *Introducción al principio antrópico*. Madrid: Ediciones Encuentro.
- Angulo, M. (2013). *Manual práctico de Derecho Ambiental. La naturaleza como sujeto de derecho*. Quito: Editorial Workhause procesal.
- Asamblea Nacional Constituyente. (2008). *Constitución de la República del Ecuador*. Montecristi: Registro Oficial N° 449.
- Asamblea Nacional del Ecuador (2017). *Código Orgánico del Ambiente*. Quito: Registro Oficial Suplemento 983 de 12 de abril.
- Ávila-Santamaría, R., y Carbonell, M. (2012). *Los derechos y sus garantías: ensayos críticos, 1. reimpr, Pensamiento jurídico contemporáneo 1*. Quito: Corte Constitucional para el Periodo de Transición. Recuperado de <https://www.derechoecuador.com/derechos-de-la-naturaleza->
- Barboza, G. (2016). ¿Se Puede Pensar en una Responsabilidad Civil sin Sujeto Dañado? Del antropocentrismo al ecocentrismo en la concepción del daño dentro de la responsabilidad civil. Lima Perú: Universidad Mayor de San Marcos. [05/05/2019]. Recuperado de file:///C:/Users/Usuario/Downloads/Se%20puede%20pensar..._stamped.pdf
- Bedón, R. y Albán, M. (2018) *Responsabilidad ambiental en Ecuador*. Quito: Cep
- Burg, D. (1996) *El proceso incorrecto del antropocentrismo*. En: *Suplemento Humana lura de Derechos Humanos* (6). El derecho humano al medio ambiente. Persona y derecho. Pamplona-España: Ediciones Universidad de Navarra, S. A.
- Carretón, A. (2018) *Capacidad de adaptación: la clave de nuestra especie*. En *Patrimonio Inteligente*. Puerto Lumbreras (Murcia). Recuperado de: <https://patrimoniointeligente.com/>
- Carta Encíclica *Laudato SI* del Santo Padre Francisco (2015) *Sobre el cuidado de la casa común*. [Consulta 04/05/2019]. Recuperado <https://www.vidanuevadigital.com/.../enciclica-laudato-si-del-papa-francisco-pdf/> Descargado: 03/05/2019
- Cruz-Petit, B. (2017). *Las relaciones entre sociedad, espacio y medio ambiente en las distintas conceptualizaciones de la ciudad*. En *Estud. demogr. Urbanos*. Vol. 29 no.1 México ene./abr. 2017. Recuperado de: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0186-72102014000100183
- Fontana, J. (1999). *Introducción al Estudio de la Historia. Nuevos Instrumentos Universitarios*. Barcelona: Editorial Crítica.
- Loperena, D (1996) *El derecho al medio ambiente adecuado*. Madrid: Editorial Civitas, S.A
- Mantilla, N (2015) *Reformulación del principio de antropocentrismo ambiental*. En: *Revista Iustitia*, número 13, pgs 421-439. Bucaramanga-Colombia: Universidad Santo Tomás. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/revista?codigo=25199>
- Mejías, C. (2019). *Evolución y perspectiva del derecho ambiental venezolano a la luz de la normativa española*. (Tesis doctoral). Dpto. Derecho Administrativo, Financiero y Procesal. España: Univ. Salamanca. Recuperado <http://www.red-redial.net/referencia-bibliografica-58296.html>
- Pérez, E. (2013) *Derecho Ambiental*. Quito: Cep.
- Ramírez, M. (2018). *Ética ambiental: entre la ecología profunda y el profundo antropocentrismo*. En: *Revista Contextualizaciones Latinoamericanas*, número 18. Universidad de Guadalajara. Guadalajara-México: Edit. Ignacio Medina. Recuperado de <http://www.revistascientificas.udg.mx/index.php/CL/article/view/7195>
- Salazar, H., y Láziz, J. (2017). *Una crítica al antropocentrismo desde la ética ambiental*. *Euphyia*, Revista de filosofía. Aguascalientes: Universidad Autónoma de Aguascalientes. Recuperado de <https://revistas.uaa.mx/index.php/euphyia/article/view/1363>
- Simón-Campaña, F. (2013). *Derechos de la naturaleza: ¿innovación trascendental, retórica jurídica o proyecto político?* En *Revista Iuris Dictio*. Año 13. Vol 15 enero- junio 2013. Quito: Universidad San Francisco de Quito. Recuperado de <https://www.usfq.edu.ec/publicaciones/iurisDictio/>

archivo_de_contenidos/Documents/iurisDictio_15/iurisDictio_015_001.pdf. Universidad Pontificia de Salamanca. (2005). Ecología y creación. Fe cristiana y defensa del planeta. Salamanca: Departamento de Ediciones y Publicaciones de la Universidad Pontificia de Salamanca.

Universidad Pontificia de Salamanca. (2005). Ecología y creación. Fe cristiana y defensa del planeta. Salamanca: Departamento de Ediciones y Publicaciones de la Universidad Pontificia de Salamanca.

Zaffaroni, E. (2018). La naturaleza como persona: Pachamama y Gaia. Buenos Aires. Recuperado de file:///Zaffaroni_-_De_la_Pachamama_a_la_Gaia.pdf

PROTOTIPO DE BICICLETA ELÉCTRICA CON ESTACIÓN DE CARGA SOLAR FOTOVOLTAICA COMO MEDIO DE TRANSPORTE URBANO SOSTENIBLE

José Martín Muñoz Salcedo¹

¹Universidad Estatal de Milagro - UNEMI

Autor para correspondencia: jmuozs@unemi.edu.ec

Recibido: 2019/05/30

Aprobado: 2019/11/30

DOI: <https://doi.org/10.26621/XV21.2019.12.A09.PUCESI.2550.6684>

RESUMEN

El actual patrón de expansión del transporte terrestre ya no es sostenible. El crecimiento que deviene de la demanda de movilidad particular ha aumentado sustancialmente las emisiones de Gases de Efecto Invernadero-GEI y sus complicaciones asociadas: contaminación ambiental, acústica y congestión vehicular; estas permutaciones, que afectan la calidad del aire, también acrecientan los cambios climáticos, resultando imperante la precisión de medidas de optimización e impulso de modalidades de transporte que confluyan a la sostenibilidad y sustentabilidad, en detrimento de la contaminación promovida mayormente por material particulado no combustionado. Las tecnologías limpias y eficientes en el transporte convergen a una necesidad latente para propiciar un consumo energético responsable y forjar un futuro sostenible. Se reportan cifras alarmantes de contaminación a nivel mundial, por lo que este estudio, derivado del diseño, construcción y puesta en marcha de un prototipo de bicicleta eléctrica de tracción trasera, alimentada por un sistema de baterías Ion-Litio, forja una alternativa cero emisiones que, en complemento, integra una estación de carga de energía solar fotovoltaica auto sustentada que fructifica la radiación del recurso solar para el almacenamiento energético en un banco de baterías preparado para abastecer la demanda energética de movilidad, en reemplazo del transporte particular convencional. Los resultados, consecuentes del dimensionamiento técnico, reflejan un óptimo funcionamiento en términos de velocidad, autonomía y eficiencia, con una bicicleta capaz de generar fuerza de ascensión en pendientes y moverse por terrenos irregulares con gran potencia. Una alternativa que converge hacia una madurez tecnológica respecto a la movilidad eléctrica en aras de un desarrollo sustentable.

Palabras clave: bicicleta eléctrica, energías renovables, movilidad eléctrica sostenible

ABSTRACT

The current land transport expansion patterns no longer sustainable. The growth that results from the demand for private mobility has substantially increased greenhouse gas emissions – GHG and its associated complications: environmental acoustic pollution and vehicular congestion; these permutations which affect air quality, also increase climate changes resulting of the precision of optimization measures and promotions measures and promotion of transport modalities that converge to sustainability and sustainability, to the detriment of pollution promoted mostly by non-combusted particulate material. Clean and efficient transport technologies converge to a latent need to promote responsible energy consumption and forge a sustainable future .Alarming figures of pollution are reported worldwide, so this study derived from the design, construction and commissioning of a rear-wheel electric bicycle prototype, powered by a Ion-Lithium battery system, forges a zero emission alternative which, in addition, integrates a self- sustain solar photovoltaic charging station that produces the radiation from the solar resource for energy storage in a battery bank prepared to supply the energy demand for mobility, replacing conventional private transport. The results consistent with the technical dimensioning, reflect an optimal performance in terms of speed, autonomy and efficiency with a bicycle capable of generating ascending force on slopes and moving through irregular terrain with great power. An alternative that converges towards a technological maturity regarding electric mobility for the sake of sustainable development.

Keywords: electric bicycle, renewable energies, sustainable electric mobility

INTRODUCCIÓN

La evolución de las energías renovables como vector de desarrollo sostenible ha devenido del interés por invertir en fuentes limpias y adoptar mecanismos de respuesta para contrarrestar la crisis ecológica, con interés en tecnologías de movilidad; así, se han venido iniciando programas para contribuir a la demanda de movilidad sustentable (Yi, 2019). La contribución de las fuentes energéticas, tras la sustitución parcial de los combustibles fósiles, se posiciona altamente en los mercados de generación de electricidad, aplicaciones térmicas, servicios energéticos aislados y carburantes para transporte, imperando este último como alternativa para la reducción de emisiones de Gases de Efecto Invernadero-GEI (en adelante, GEI) y otros contaminantes locales, contrayendo la dependencia energética y coadyuvando al desarrollo tecnológico (Hazarathaiyah, 2019).

El rol protagónico del crecimiento demográfico y urbanístico como únicas vías del desarrollo dilapidó el verosímil o, por decirlo de otro modo, inicialmente sustentable sistema vehicular. De este modo, el uso masivo de vehículos privados ha acrecentado el consumo de energía fósil, por su acceso exhuberante y barato, en desmedro de la permuta ambiental y biofísica, punto medular de la crisis ecológica. No en vano, el mayor consumo del petróleo se origina en las metrópolis urbanas, siendo claro que el urbanismo y la movilidad se relacionan con dinámicas de retroalimentación positivas: nuevos sistemas de transporte conducirán la conquista de nuevas parcelas territoriales (Morales, 2014).

Proporcional al metabolismo del transporte, se vincula el progreso económico, industrial y sostenible (Manheim, 1979) pues, a mayor nivel adquisitivo, mayor flota automotriz y por efecto, mientras más alto sea el nivel de vehículos, más alto será el impacto ambiental, social y económico, exigiendo una dinámica de movilidad con recursos materiales y energéticos paralela a la progresión demográfica (Gruber, 2014; Tie-Quiao, 2018; Greenhalgh, 2019); extrapolando esta proporción, se espera un incremento significativo de emisiones asociadas al transporte, pues concomitante al cambio climático antropogénico, "los GEI del sector de transporte están creciendo más rápidamente que de cualquier otro sector económico" (Hazarathaiyah, 2019). Para colmo, los sistemas tradicionales o populares de movilidad han transgredido los límites admisibles de circulación estimulando desplazamientos a pie o en bicicleta (Morales, 2014).

La mayor cantidad de emisiones de GEI son atribuidas al transporte terrestre; en tanto la predominancia ambiental evolucione a la par del progreso sectorial, la adopción de

estrategias de mitigación en respuesta al cambio climático resulta imperativa. Con el objetivo de hacer sostenible el transporte motorizado e impulsar modalidades eficientes y económicas, este estudio diseña un prototipo de bicicleta eléctrica sustentada por un sistema de baterías Ion-Litio, con carga a una estación de energía solar fotovoltaica auto sustentada, que, gracias a la radiación del recurso solar, almacena energía eléctrica en un banco capaz de abastecer la demanda energética de la bicicleta y otras recargas de consumo eléctrico conectadas a la estación.

El transporte en Ecuador

El patrón de movilidad ecuatoriano ha fomentado la infraestructura vial motorizada, cuyas complicaciones advierten riesgos sociales, ambientales y económicos. Ha progresado el desarrollo urbano, ampliándose exponencialmente el tamaño de numerosas urbes, pero no ha crecido a la par el transporte terrestre ni en calidad ni en cantidad, volviéndose por ende insostenible. Así, pese a que el transporte terrestre solventa la mayor proporción de la demanda de movilidad, según datos provistos por el Ministerio de Transporte y Obras Públicas (2018), se percibe un importante incremento en la movilidad individual, con mayor incidencia en las provincias de Guayas y Pichincha, urbes económicas de mayor importancia, seguidas por Azuay y Tungurahua. El parque automotor se ha incrementado exponencialmente, con mayor concentración particular de vehículos y motocicletas, la mayoría de estas con un rendimiento ineficiente, tras la emisión de material particulado no combustionado (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, 2016).

Las emisiones vehiculares de carácter antropogénico afectan la calidad del aire sobre la concentración atmosférica; en la provincia del Guayas, Milagro, tercera urbe más grande y poblada de la provincia y primera conurbación del Ecuador, se posiciona como la segunda ciudad más contaminada con un indicador que supera los $32 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (microgramos por metro cúbico) para un material particulado respirable presente en la atmósfera de PM_{2,5}, mientras que el material particulado más grande, conocido como PM₁₀, alcanza cifras de $66 \mu\text{g}/\text{m}^3$, valores muy por encima de los límites recomendados por la Organización Mundial de la Salud (2017).

Sobre la data histórica, el transporte es el sector con mayor crecimiento de emisiones en los últimos años, por lo que se prevé que al año 2025 estas alcancen casi el 80% (Hubenthal, 2010). A la par de este pronóstico, las soluciones deberán abordar un contexto sostenible. Se han visibilizado estrategias de movilidad y promoción de energías renovables con la introducción de vehículos híbridos y eléctricos, la caracterización de infraestructura

vial y la planificación de inversiones que favorecerán modos de transporte motorizado individual para mitigar esta problemática que supone la mayor incidencia en el cambio climático.

Inserción de la bicicleta en el transporte urbano

La movilidad en dos ruedas se promueve como medio efectivo de transporte urbano. La planificación de las ciudades en los últimos años ha enfatizado, al menos en teoría, su transformación física y cultural en contra del transporte vehicular y su uso indiscriminado, que conlleva una tasa per-cápita en desequilibrio en contribución al uso de energía fósil (Morales, 2014). Los sacrificios para mitigar los problemas que supone el transporte ineficiente, que han colisionado con la demarcación biofísica del planeta, prevén la promoción de la bicicleta y sus beneficios asociados: mejorar la salud pública, disminuir la contaminación, favorecer el urbanismo, reparar la economía, etc. (Correa y Ramírez, 2017).

Diversos estudios proponen la participación gubernamental para regular y masificar la bicicleta como medio de transporte público-privado, sobre la fundamentación tácita de que el desarrollo de un modelo de movilidad sostenible nace con la inclusión de políticas de asignación equitativa de espacios viales y ejes de intervención para el transporte individual (Quintero y Quintero, 2015). El pronóstico de madurez de un sistema de este tipo se fortalece con infraestructura incluyente y condiciones de accesibilidad metropolitana (Jakovcevic et al, 2016); de este modo, determinados países de Latinoamérica han adoptado modelos de desarrollo vial de grandes urbes europeas, asiáticas y americanas (Greenhalgh et al, 2019; McQueen, 2019). En Ecuador, la cultura ciclista se ha incrementado y fue en el 2012 cuando se construyeron las primeras ciclovías como sistema alternativo y de seguridad deportiva con iniciativas gubernamentales, municipales y de la sociedad civil (Pinto et al., 2015); estas decisiones se han extrapolado hacia la comunidad internacional de "Iniciativa Ciudades Emergentes y Sostenibles (ICES)", donde Ecuador funge como miembro activo del programa, a procura de ejecutar planes de sostenibilidad urbana y desarrollo.

Las bicicletas y sus sistemas complementarios contribuyen por tanto a este fin último, como vector de cambio eficiente de la planificación urbana en el eje de transporte frente a la movilidad vehicular, punto cardinal de la contaminación atmosférica (Cabezas, 2016, Hazarathaiyah, 2019).

Bicicleta eléctrica: motor de cambio sostenible

La bicicleta eléctrica, vehículo accionado de cero

emisiones, representa una alternativa al transporte motorizado particular que, acompañado de un motor eléctrico, confluye hacia un ecosistema vehicular energéticamente eficiente (Castro et al, 2019). Esta bicicleta integra un motor eléctrico impulsado con la fuerza de aceleración manillar; su estructura, sumada al sistema de baterías, que almacena energía para liberarla como movimiento y arranque, conforma la parte externa de la bicicleta que figura como un modelo convencional (Park, 2018; Greenhalgh, 2019).

A la vanguardia de la movilidad, sin presencia fósil (hidrocarburos) para su funcionamiento y debido a su escaso volumen físico, se configura como el medio de transporte sostenible más rápido en trayectos urbanos, articulando además dos grandes beneficios desde el punto de vista burocrático: acceso a ciclovías sin registro de matriculación y tránsito sin permisos de manejo (Dijk et al, 2013; Jakovcevic et al, 2016).

La gran oferta de bicicletas y por ende su precio, en descenso respecto al de los vehículos privados, caracteriza su protagonismo como medio de transporte, adscrito a una nueva cultura de movilidad que impulsa el transporte público y racionalice de este modo el uso vehicular indiscriminado.

MATERIALES Y MÉTODOS

Prototipo de bicicleta eléctrica para condiciones de movilidad en la ciudad de Milagro

La caracterización geográfica de la ciudad de Milagro y sus condiciones particulares, al encontrarse en una zona tropical de terrenos planos, sin pendientes pronunciadas, viabiliza la movilidad urbana sostenible en pro del bienestar social, económico y ambiental.

El desarrollo de un prototipo de bicicleta eléctrica en reemplazo de vehículos y motocicletas particulares se fundamenta en tres pilares fundamentales: transporte cero emisiones compatible con la infraestructura vial, aceptación urbanística sin permisos de circulación y desarrollo tecnológico y social (Zaripov, 2019).

La limitación de pedaleo en vías asimétricas constituye un factor predominante para su utilización, pues el concepto de bicicleta eléctrica integra elementos que proporcionan autonomía y poco esfuerzo del ciclista, representando un modelo de transporte de cambio y tecnología que, articulado a una estación de carga, se convierte en una opción formidable para el desplazamiento ecológico.

Instrumentación de la bicicleta

El prototipo de bicicleta eléctrica se construye con base a una bicicleta montañera convencional de tracción trasera aro 26" y marco estándar, a la cual se le equipan componentes eléctricos integrados por la batería (banco de baterías Ion-Litio recicladas -menos contaminantes que la de Plomo/Ácido-), controlador, motor y sensores para la asistencia de pedaleo y aceleración.



Figura 1. Prototipo bicicleta eléctrica

El ensamble del motor se realiza en la rueda posterior de la bicicleta adaptando un motor HUB sin escobillas de imanes permanentes, de 1500 Watts de potencia, en un solo armazón; se adaptan los ejes rotativos con pivote de torque para, en su conjunto, formar la rueda eléctrica motorizada con control de manubrio y pedaleo.



Figura 2. Ensamble de motor en rueda posterior

El sistema de engranaje se adecua al pedal y sobre esta composición, tras el asiento, se ubica el sistema de baterías con un soporte de aluminio (al ser una aplicación de ajuste manual los cables y baterías van a la vista, protegidos contra la temporalidad), el cual integra una llave de giro en sentido horario para bloqueo y desbloqueo de la batería de alojamiento.

Sobre el banco de baterías se sitúa el controlador, capaz de regular la velocidad del motor en función de la intensidad del pedaleo y de la posición del manillar de aceleración.

El sistema contempla un sistema de frenado dinámico que conserva parte de la energía perdida al frenar y la almacena en el banco de baterías para posterior liberación.



Figura 3. Ensamble controlador y batería

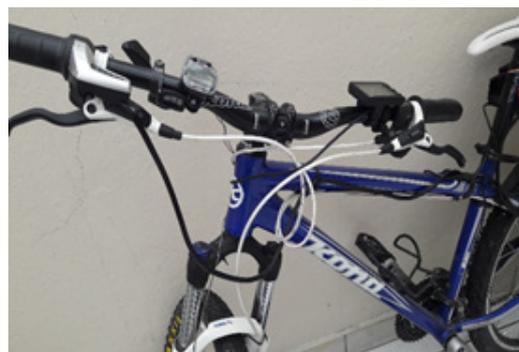


Figura 4. Articulación blanco del manillar

En el blanco del manillar se ajustan los manubrios de mando de aceleración tipo mariposa y se adapta el panel LCD que visualiza el estado de carga de la batería, velocidad y distancia recorrida.

Este esfuerzo mecánico prevé reducir el esfuerzo del ciclista como solución tecnológica que cubra largas distancias planas y, especialmente, trayectos con pendientes pronunciadas por su fuerza de ascensión a plena carga (dependiente del peso del equipo y ciclista, batería y potencia); sin autonomía, el motor se desconecta funcionando como una bicicleta común.

Se articula así un híbrido eléctrico inteligente con transmisión directa, confiable, seguro y correctamente instalado que soporta la temporalidad.



Figura 5. Vista lateral bicicleta eléctrica

Tabla 1. Especificaciones de la bicicleta eléctrica

CARÁCTERÍSTICAS TÉCNICAS BICICLETA		
Batería	Capacidad	960 wh
	Límite Controlador	40 A
Litio-Ion	Tiempo de carga	5-6 h
	Profundidad de des-carga	80%
Motor	Controlador Motor	Brushless
	Potencia Nominal	1500 W
	Voltaje	48 V
	Par max.	35 N.m
Carga	Voltaje de entrada (AC)	90 a 220 V
	Corriente carga	5A
Rendimiento	Velocidad máxima	60 km/h
	Autonomía homologada	40 km
	Capacidad ascensión	<25°
	Consumo	24 wh/km

Sistema de batería

Integra un prototipo recargable de baterías Ion-Litio de celdas cilíndricas Tipo-18650, recicladas de equipos portátiles en desuso, como sistema de almacenamiento de energía solar fotovoltaica, que a diferencia de la tecnología plomo ácido convencional confluye a la sostenibilidad y sustentabilidad, en detrimento de la contaminación ambiental que supone su disposición final como residuo electrónico de alta toxicidad.

Esta batería reciclada suministra energía al motor para la asistencia del ciclista. La batería se ubica en el soporte posterior del cuadro de la bicicleta sobre la llanta trasera, de modo que el centro de gravedad proporcione estabilidad, ajustada a un riel metálico.

Su aplicación metodológica se soporta en:

- 1. Diseño:** Batería rectangular, peso medio, facilidad de montaje-desmontaje, acoplado en una base que forma el porqué de baterías.
- 2. Requisitos:** 100 unidades de baterías Litio-Ion de 12 V, 24 V, 36 V y 48 V, reciclados de ordenadores portátiles en desuso, menor a siete años de antigüedad.
- 3. Operación:** Desmontaje de baterías, obtención de celdas cilíndricas y mantenimiento de sus polos, ulterior a la medición del voltaje unitario, separando y registrando las celdas >2.75 V; estas celdas se someten al proceso de carga y descarga para registro de su capacidad real (celdas <2.74 V para aplicaciones de menor capacidad). Se clasifican las celdas >1000 mAh tras su registro de capacidad unitaria y montaje grupal en serie y paralelo, para emplazarlas en conexión al BMS y desarrollo de pruebas de rigor.

La matemática utilizada para la construcción del prototipo, derivó una estructura de 12 V de corriente continua que, a través del inversor, transformó a 110 V de corriente alterna, permitiendo la alimentación de artefactos eléctricos de uso doméstico e industrial.

En términos económicos (costos de reutilización de desechos), los resultados reflejan una reducción sustancial frente a tecnologías de almacenamiento energético de iguales características.

Tabla 2. Especificaciones Banco de Baterías

BANCO BATERÍAS CONFORMADO	
Tipo de batería	Ion-Litio
Capacidad	84 wh
Protección BMS	20 A
Profundidad de Descarga	80%
Voltaje Nominal	12 V
Tecnología	Ciclo profundo
Tiempo de carga (Radiación óptima)	>3 h
Número Paneles Solares	1
Potencia Panel solar	28 W
Voltaje Panel con step up Vcc	18 VDC
Corriente de cortocircuito I _{sc}	2 A
Número Inversores	1
Potencia nominal por inversor	300 W
Controlador solar de carga	12 V/20 A



Figura 6. Conformación Banco de Baterías

Caracterización de la estación de carga

Para alimentar el sistema de baterías de la bicicleta se desarrolla un modelo de abastecimiento energético renovable. El resultado: una estación de carga con un sistema fotovoltaico aislado de la red eléctrica, capaz de cubrir la demanda la bicicleta eléctrica, solución económicamente viable con una base tecnológica ambientalmente sostenible.

Su desarrollo prevé: 1) estimación del consumo caracterizando el perfil de demanda, 2) evaluación del recurso, 3) asignación de valores de potencia a los paneles solares, 4) dimensionar la estación con cálculos técnicos de potencia y amperaje de regulador e inversor, 5) simulación de producción energética, 6) montaje e instalación de los componentes, 7) mediciones de calidad, funcionalidad, tiempo de carga y descarga.

Se emplea un ordenador estándar equipado con Matlab, Pvgis, Solar Gis, Google Earth Pro.

Tabla 4. Especificaciones Estación de carga

ESTACIÓN DE CARGA	
Capacidad	2016 wh
Límite Corriente controlador	20 A
Profundidad descarga	60 %
Voltaje Nominal	12 V
Tecnología	Ciclo profundo
Tiempo de carga	>8h
Número Paneles Solares	2
Potencia Paneles solares	170 W
Voltaje Panel Vcc	18 VDC
Corriente de cortocircuito ISc	6 A
Número Inversores	2
Potencia nominal por inversor	1000 W
Controlador solar de carga	12 V/20 A

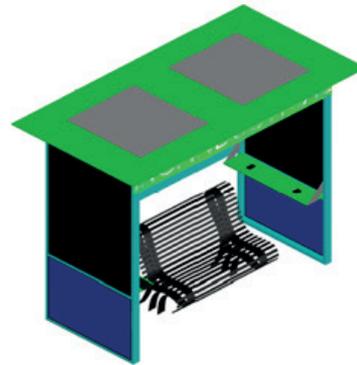


Figura 7. Prototipo estación de carga

La instalación conecta las placas solares en serie-paralelo junto al regulador de voltaje BMS, para la carga del banco de baterías y el aporte energético almacenado a un inversor de transformación de corriente continua en alterna, para finalmente alimentar las cargas de consumo de la bicicleta y otros dispositivos.

Según las especificaciones descritas, la energía se almacena en un banco de baterías de ciclo profundo de 2016 wh, pudiendo abastecer el requerimiento de carga de dos bicicletas por día, o en su efecto, cubrir más de dos cargas completas diarias de una bicicleta (resultados de carga real), con capacidad facsímil según demanda.

La estación cuenta una estructura de aluminio tipo marco, para el montaje de equipos y componentes que soporta temporalidad y da confort y sombra.



Figura 8. Estructura Estación de carga

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La evaluación dinámica se realiza en trayectos específicos de la ciudad de Milagro en planimetría y ligeras pendientes, con un ciclista de características antropométricas de 1.85 m de altura y 64 kg de peso. El monitoreo del recorrido de pruebas se evalúa según el desempeño en puntos de máxima pendiente.

Los resultados del prototipo dimensionado técnicamente reflejan que en terrenos planos la bicicleta, con un motor de más de 90% de eficiencia y una batería de 48 V y 20 Ah, puede alcanzar velocidades de hasta 60 km/h, con autonomía de alrededor de 40 km a plena carga o una duración de más de 40 minutos de uso por carga completa. En condiciones de mayor pendiente, exigencia y torque, pese a la potencia del motor de 1500 W, la bicicleta requiere un mayor consumo energético en detrimento de su autonomía, requiriendo pausas del ciclista para que el motor regule la temperatura y limite su rendimiento en caso de sobrecalentamiento, pues se demuestra relación directa entre la temperatura y el rendimiento del motor. En climas cálidos se reduce la capacidad del controlador pudiendo recalentarse, mientras que en condiciones de menor grado de temperatura, el motor opera en su máxima potencia, siendo capaz de generar la fuerza necesaria para la ascensión de pendientes de 25° y moverse por terrenos irregulares, sin asistencia de torque, permitiendo una circulación sin interrupciones para la estabilización de la rueda motorizada.

La exigencia al límite del prototipo determinó que en terrenos con ligeras pendientes negativas (bajadas), la energía cinética obtenida del frenado dinámico con manubrio al descender, se transforma en energía eléctrica almacenada en el banco de baterías, incrementando su capacidad en aproximadamente un 10%. Esto obedece a la inserción de un dispositivo de frenado dinámico, que redime parte de la energía perdida al frenar y se almacena en el banco para posterior liberación; así, al pedalear en reversa, la cinética de frenado se convierte en energía almacenable. Culminada la energía eléctrica del sistema de baterías, se demuestra la necesidad de incrementar el esfuerzo físico del ciclista para su movilidad (considerando el peso de los elementos que la componen). No obstante, su funcionalidad deviene de las condiciones estándar de diseño.

Este desarrollo tecnológico constituye un medio de transporte eficiente, sostenible y adaptable a las condiciones planimétricas de la ciudad de Milagro, así como de territorios con pendientes pronunciadas y con presencia de lluvia, dado que los componentes eléctricos se encuentran protegidos contra fuertes precipitaciones.

En términos económicos, la instrumentación de la bicicleta y la caracterización de la estación de carga, cuyo importe aproximado asciende a USD 2.100, funge como una solución asequible frente a otros sistemas de movilidad con similares características, como el caso de las motocicletas, dado que la energía primaria requerida para su puesta en marcha proviene del sol, suponiendo una única inversión inicial y un costo nulo de recorrido.

CONCLUSIONES

La movilidad sostenible funge como alternativa de cambio en los sistemas de transporte, debido a una simple cuestión energética: la energía actualmente utilizada, bajo combustibles fósiles, no satisfará la demanda de transporte verosímil; en cuyo caso, la propuesta de transporte individual para el desplazamiento urbano constituye el hoy y el mañana del tránsito urbano.

Este estudio construye un prototipo de bicicleta eléctrica que adapta tecnologías de locomoción integradas por la batería, controlador, motor, y sensores para la asistencia de pedaleo y aceleración, con adaptaciones para la conversión de una bicicleta montañera convencional aro 26" en una bicicleta eléctrica de pedaleo asistido, con funcionamiento eficiente en condiciones geográficas de planimetría y centros urbanos con presencia de pendientes de hasta 25°.

La documentación del ejemplar, cuyo costo asciende a USD 1.500 aproximadamente, integra un diseño esbelto con cableado y batería visibles, resistente a los esfuerzos mecánicos, que proporciona una potente autonomía para recorrer trayectos de 40 km a plena carga o más de 40 minutos de uso por carga completa, alcanzando velocidades de hasta 60 km/h. En conjunto, la estación de carga y el ejemplar alcanzan un importe aproximado que asciende a USD 2.100, sin costos de operación.

Esta aplicación tecnológica puede considerarse en la promoción de políticas de movilidad sostenible para gobiernos locales, quienes prevén reducir el consumo fósil para vehículos de combustión interna e impulsar medios de transporte alternativos, favoreciendo la inserción de bicicletas y el desarrollo de la infraestructura necesaria para la adaptación de estaciones de carga, como la del modelo, diseñadas con el propósito de alimentar las baterías que integran el sistema eléctrico de locomoción.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Cabezas, D. (2016). *La bicicleta como motor del cambio del siglo XXI*. Barcelona, España: Editorial UOC. ISBN: 9788491163473

- Castro, A., Gaupp, M., Dons, E., Clark, A., et al. (2019). Physical activity of electric bicycle users compared to conventional bicycle users and non-cyclists: Insights based on health and transport data from an online survey in seven European cities. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, Volumen 1, Número 100017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trip.2019.100017>
- Correa, G., y Ramírez, A. (2017). Bike Prototype for Sustainable Individual Urban Transportation. *Lámpasakos*, Numero 17, pp 40-51. DOI: <http://dx.doi.org/10.21501/21454086.2055>
- Dijk, M., Orsato, R., y Kemp, R. (2013). The emergence of an electric mobility trajectory. *Energy Policy*, Numero 54, pp 135-145. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.04.024>
- Greenhalgh et al, (2019) An exploration of stroke survivors' perspectives on cycling and the use of electric bikes, *Physiotherapy Practice and Research*. ISSN 2213-0683.
- Gruber, J., Kihm, A., y Lenz, B. (2014). A new vehicle for urban freight? An ex-ante evaluation of electric cargo bikes in courier services. *Research in Transportation Business & Management*, Numero 11, pp 53-62. DOI: DOI:10.1016/j.rtbm.2014.03.004
- Hazarathaiyah, P. (2019) Design and Fabrication of Hybrid Electric Bike. *International Journal of Applied Engineering Research*, Volumen 14, Numero 4, pp. 930-935. ISSN 0973-4562
- Hubenthal, A. (2010). Evaluación del sector transporte en Ecuador con miras a plantear medidas de mitigación al Cambio Climático. Quito: PNUD.
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. (2016). Estadísticas de movilidad urbana. Quito, Ecuador.
- Jakovcevic, A., Franco, P., Vison, M., & Ledesma, R. (2016). Perception of the individual benefits of bike sharing use as a mode of transport. *Suma Psicológica*, Volumen 23, Número 1, pp 33-41. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.sumpsi.2015.11.001>
- Manheim, M.L. (1979). *Fundamentals of Transportation Systems Analysis*, vol. 1: Basic Concepts. MIT Press, Cambridge.
- McQueen, M. (2019). How E-Bike Incentive Programs are Used to Expand the Market. *Transportation Research and Education Center*, A white paper of University of Tennessee, Knoxville. Obtenido de: https://peopleforbikes.org/wp-content/uploads/2019/05/E-bike-Incentives-Paper-05_15_19-Final.pdf
- Ministerio de Transporte y Obras Públicas. (2018). Estadísticas de transporte en Ecuador. Obtenido de <https://www.obraspublicas.gob.ec/biblioteca/>.
- Morales, L. (2014). BiciMAD y el auge de la bicicleta en Madrid. Congreso Nacional de Medio Ambiente.
- Organización Mundial de la Salud. (2017). *Public Health, environmental and social determinants of health (PHE)*. Obtenido de https://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair/databases/cities-2011/en/
- Park, C. (2018). Electric Bike. Patents US20180370593A1.
- Pinto, A., Fuentes, N., y Alcivar, D. (2015). La situación de la bicicleta en el Ecuador: avances, retos y perspectivas. *Friedrich Ebert Stiftung - ILDIS*. Quito, Ecuador, ISBN: 978-9978-94-147-8
- Quintero, J., y Quintero, L. (2015). El transporte sostenible y su papel en el desarrollo del medioambiente urbano. *Ingeniería y Región*, Volumen 2, Número 14, pp 87-97.
- Tie-Quiao, T. (2018). Modeling electric bicycle's lane-changing and retrograde behaviors. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, Volumen 490, pp 1377-1386. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.physa.2017.08.107>
- Yi, H., Ziqi, S., Zhaocai, L. (2019). Factors Influencing Electric Bike Share Ridership. *Transportation Research*, Department of Civil and Environmental Engineering, Utah State University, Logan, UT 84322-4110, United States *Sage Journals*, pp12-22.
- Zaripov, R., Gavrilovs, P. (2019). Study of dynamic characteristics of electric bicycles. *Procedia Computer Science*, Volumen 149, pp 307-313. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.01.140>

ESTUDIO FORMAL, SIMBÓLICO Y ESTILÍSTICO DE LA FACHADA PRINCIPAL DE LA IGLESIA DE ZARUMA A TRAVÉS DE SU RELEVAMIENTO

Jorge Patricio Romero Galarza¹

¹Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra. Escuela de Jurisprudencia.

*Autor para correspondencia: jpromero@pucesi.edu.ec

Recibido: 2019/06/12

Aprobado: 2019/11/15

DOI: <https://doi.org/10.26621/XV21.2019.12.A10.PUCESI.2550.6684>

RESUMEN

Todos los monumentos patrimoniales del Ecuador deberían tener un registro formal: gráfico y fotográfico, textual e informativo, de su origen, construcción y estado actual. Para llegar a esto, es necesario llevar a cabo un levantamiento arquitectónico y un relevamiento de la edificación. Hay una gran diferencia entre estos dos conceptos: el levantamiento describe el aspecto físico del monumento, a través de la toma de medidas, mientras que el relevamiento define los aspectos no materiales que ayudan a entender el origen de la edificación, la geometría y el porqué de las formas, la carga simbólica de sus componentes y los estilos involucrados. Este artículo da a conocer, a través del levantamiento y relevamientos arquitectónicos como parte de la metodología de investigación, la forma, la geometría, las dimensiones, la simbología y los estilos de la fachada principal de la Iglesia Matriz de la ciudad de Zaruma (Santuario de la Virgen del Carmen, ubicada en la parte alta de la provincia de El Oro, Ecuador, cuya construcción data del 1912). Este registro será de mucha utilidad para la conservación y el restauro del bien patrimonial en caso de que éste sufra algún accidente o deterioro debido al tiempo, y así eventualmente ser recuperado en su forma original.

Palabras clave: levantamiento, relevamiento, conservación, patrimonio, simbolismo

ABSTRACT

All patrimonial monuments of Ecuador should have a formal record: both graphic and photographic, textual and informative of their origin, construction and current state. To achieve this, it is necessary to carry out an architectural survey and rilievo. There is a big difference between these two concepts: the survey describes the physical aspects of the monument, through the taking of measurements, while the rilievo defines the building non-material aspects that help to understand its origin, geometry, shapes, symbolism and styles involved. This article reveals, through the architectural survey and rilievo, as part of the research methodology, the shape, geometry, dimensions, symbolism and styles of the main church of Zaruma's main facade (Sanctuary of the Virgen del Carmen, located in the upper part of the province of El Oro, Ecuador, whose construction dates from 1912). This record will be very useful for the conservation and restoration of the patrimonial good in the event of an accident or deterioration due to time, and thus eventually be recovered in its original form.

Keywords: survey, rilievo, preservation, heritage, symbolism

INTRODUCCIÓN

La importancia enorme que tiene la conservación patrimonial para los cascos históricos de las ciudades en Ecuador va de la mano con una nueva disciplina que se está poco a poco transformando en una ciencia propiamente dicha, esto es, el “levantamiento arquitectónico integral” que tiene dos componentes: levantamiento arquitectónico y relevamiento global. De ahí que, para registrar los bienes patrimoniales a través de este método, en primer lugar, hay que hacer un inventario de lo existente y de lo que se quiere perpetuar en el tiempo. Es necesario no solo llevar a cabo un levantamiento arquitectónico (toma física de medidas de la edificación) sino también un relevamiento global (historia, construcción, materiales, etc.) de los monumentos patrimoniales. Uno de los monumentos que mejor brinda la oportunidad de poner en práctica los conocimientos sobre levantamiento y relevamiento arquitectónicos es precisamente la Iglesia de Zaruma —mejor conocida como el Santuario de la Virgen del Carmen— cuyo interés por conocer más sobre este monumento ha constituido el estímulo fundamental que ha impulsado a empezar este proyecto que ahora se está llevando a cabo sobre la Iglesia Matriz de la ciudad capital del cantón Zaruma —una bellísima localidad pintoresca en la parte alta de la provincia de El Oro— que concluye en un solo artículo, el cual que se centra en las formas en general, la geometría de las mismas y la carga simbólico-estilística de la fachada patrimonial de esta iglesia. (Docci y Maestri, 2009).

El objetivo principal de este proyecto es dotar a la comunidad de la ciudad de Zaruma, de la provincia de El Oro, y al registro del Patrimonio Cultural del Ecuador, una documentación de orden de carácter no solo arquitectónico de la fachada principal de la iglesia —la síntesis más representativa de todo el monumento—, sino también de índole geométrica (formas), simbólica (números y colores), decorativa (fitoforme, floriforme) y estilística (eclecticismo).



Figura 1. Ubicación de la Iglesia Matriz de Zaruma en relación a su contexto urbano-vial de carácter orgánico que responde a una topografía irregular propia de la Cordillera de Vizcaya, donde se encuentra asentada la ciudad.

MATERIALES Y MÉTODOS

Relevamiento de recuperación

De los varios métodos existentes de levantamiento arquitectónico, en este monumento en particular, se utilizaron los siguientes:

El primer método de levantamiento llamado “directo” se ejecutó con la ayuda de instrumentos de medición tradicionales, como flexómetros, cintas métricas, calibres, vernieres, micrómetros, etc. Existe toda una tecnología detrás del método directo que nos sugiere cómo usar las herramientas de medida casuales para lograr de estas la mayor precisión posible.

Después de medir la fachada de la Iglesia Matriz (*levantamiento planimétrico*), se comprobaron las dimensiones por triangulación. Las alturas parciales y totales (*levantamiento altimétrico*), los espesores de ventanas, las paredes y muros. (*levantamiento volumétrico*) fueron tomados con la ayuda de instrumentos menos tradicionales y más tecnológicos como teodolitos, micrómetros y altímetros digitales.

Este segundo método, conocido como “indirecto”, facilitó y aceleró la recolección de medidas y el grado de precisión fue mucho mayor que aquel obtenido con las herramientas convencionales. Este método, sin embargo, implica el uso de material de alquiler costoso como el teodolito electrónico y digital (Bertocci y Bini, 2012).

Para fines de bajar los costos presupuestales, se utilizó también un tercer método innovador conocido como “fotogramétrico”, el cual hace uso de fotogramas de alta resolución captados con cámaras de lentes de alta calidad, tomados desde ciertos puntos de vista persépticos, para luego, con la ayuda de un ordenador, enderezar las imágenes y convertirlas en fachadas con líneas de fuga paralelas, es decir, alzados propiamente dichos, totalmente perpendiculares al punto de vista.

Se tomaron luego algunas medidas parciales con longitudes representativas mayores a los dos metros y usarlas sobre los fotogramas. Luego se escalaron los fotogramas según esas medidas significativas y de esta forma se obtuvieron el resto de longitudes de todos los elementos del monumento arquitectónico a la misma escala (Genovese).



Figura 2. Fachada frontal de la iglesia con escalinata de acceso que conecta la calle Bolívar, eje patrimonial de la ciudad, con el portal de acceso principal y con la plaza principal de la ciudad.

Investigación

El trabajo de investigación se enfoca sobre todo en el proceso de interpretación de la fachada principal de la Iglesia de Zaruma. Es claro que el punto de vista arquitectónico de la Iglesia Matriz de Zaruma prevalecerá sobre todas las demás caras de la misma iglesia, visto y considerado que la temática general de interés es el arte y la arquitectura. Esta publicación tiene dos componentes básicos: la investigación de carácter histórico-fotográfico y el trabajo de campo consistente en un levantamiento de la fachada principal de la Iglesia Matriz.



Figura 3. Fotografía de época tomada por León Jiménez Ramírez donde se ve la misma fachada frontal de la iglesia y su característica conformación urbana de casas aportaladas y persianas de madera. (Romero, A, 2011).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de la investigación evidenciaron con claridad las características eclécticas de la fachada principal de la iglesia a través de la lectura de la geometría de las formas logradas con el levantamiento y relevamiento arquitectónicos de esta parte de la iglesia y

de sus elementos constitutivos.

Órdenes y registros externos de la fachada principal de la iglesia

Para el entendimiento de las partes del diseño en alzado de la fachada de la iglesia en estudio, se ha dividido la altura total de la iglesia en secciones llamadas órdenes, teniendo en cuenta también las fachadas laterales, cuyas sendas ságomas se reflejan en el alzado frontal, sobre todo en los dos primeros órdenes los cuales contienen el cuerpo principal de la iglesia; los tres órdenes restantes cubren las secciones frontales de la torre-campanario. Existen cinco órdenes con subdivisiones llamadas registros, en algunas de estas secciones.

El primer orden cubre la distancia desde el piso hasta la altura de las naves laterales. Este primer orden se divide en cuatro registros: "A" (base champeada de color café a modo de antepecho), "B" (muro liso de color claro donde se encuentran emplazadas las ventanas), "C" (cornisa de remate de las naves laterales) y "D" (altura proyectada de la cubierta de las naves laterales).

En el primer orden externo hay varios números de importancia interpretativa. El número nueve, por ejemplo, es el número de ventanas de sus fachadas laterales, haciendo excepción en la fachada lateral izquierda que tiene solo ocho, pero esto se explica por la presencia del portón lateral que reemplaza la ubicación de esta ventana. El nueve es el número de Juicio Final y de finalidad también. Este número también representa el fruto del Espíritu Santo. Jesús fue crucificado a las nueve de la mañana y murió a la hora novena del día. Hay nueve frutos del Espíritu (Gálatas 5:22-23) e indica la finalidad por qué nada más es necesario. De igual manera, hay nueve dones espirituales (Corintios 12:8-10) (Ronchetti, 2004). En cambio, el significado simbólico del número cuatro está vinculado geoméricamente a la forma cuadrada y al número de lados del mismo, arquitectónicamente a la plaza y religiosamente a la cruz. Desde tiempos prehistóricos, el cuatro se utilizó para significar lo sólido, lo tangible, lo sensible. Su relación con la cruz lo convirtió en un símbolo incomparable de plenitud, de universalidad, un símbolo de totalización. La intersección de un meridiano y un paralelo divide la tierra en cuatro sectores. En todos los continentes, los jefes y los reyes son llamados: señores de los cuatro mares, o de los cuatro soles, o de las cuatro partes del mundo, etc. (Chevalier, y Gheerbrant).

Este primer orden también tiene tres registros principales a nivel de muro vertical y un cuarto que es la cubierta; para cuestiones de simbolismo, el tres que es el número preponderante ya que representa los registros verticales de la pared, y el cuarto registro cuenta de forma

independiente como la caída proyectada de la cubierta que cubre la nave lateral. Otro número importante en este orden es el cuatro que son los lados en que se divide la fachada posterior de la iglesia o ábside, y ocho el número de ventanas que este orden contiene en su parte posterior, más dos del orden superior que da un total de diez. En la fachada anterior de este orden hay tres divisiones que se corresponden con las naves de la iglesia y tres elementos muy de importancia para la iglesia: dos ventanas laterales y el portón central. La importancia del valor simbólico del número cuatro se debe en gran parte a su presencia en la naturaleza. Cuatro son los puntos cardinales, cuatro vientos, cuatro pilares del universo, cuatro fases de la luna, cuatro estaciones, cuatro temperamentos, cuatro humores corporales (sanguis, flema, cólera y melancolía), cuatro direcciones del cielo, cuatro elementos de alquimia (tierra, fuego, agua y éter o aire), etc. De este modo el número cuatro está presente en la Iglesia de Zaruma en muchos de sus componentes y de su arquitectura misma. En la Biblia, cuatro es el número de los ríos del Paraíso (Fizón, Geón, Éufrates y Tigris) (Génesis 2, 10), y cuatro son las letras que forman el tetragrama del nombre de Dios (JHWH), Jahwèh, que a menudo se vocaliza en «Jehová» (Cooper, 2012). Para los cristianos, el cuatro es también el número del cuerpo, (Biedermann, 2004) mientras que el tres es el número del alma. Hay cuatro últimas cosas del cristianismo, a saber, los cuatro hechos escatológicos de la teología cristiana: la muerte, el juicio, el cielo y el infierno (Feuerstein, 2001). La cruz tiene cuatro brazos. El tetramorfo está compuesto por los cuatro evangelistas: San Marco, San Giovanni, San Luca y San Mateo, que se corresponden con sus cuatro símbolos respectivamente: el león, el águila, el buey y el ángel. El número cuatro designa la plaza, y por lo tanto es un símbolo de lo terrenal y de la totalidad de la creación y de lo revelado.

El segundo orden define la altura del claristorio, o sea la distancia que va desde la cumbrera de las naves laterales hasta la cumbrera de la nave central. Este segundo orden tiene tres registros: "E" (muro liso de color claro donde se encuentran las biforas del claristorio, "F" (falso friso decorativo) y "G" (altura proyectada de la cubierta de la nave central). El primer y segundo orden se funden sobre la fachada principal de forma muy particular y que se explica más adelante.

En el segundo orden externo hay varios números de importancia interpretativa, igualmente que en el primero. El diez es el número de ventanas en sus fachadas laterales, nueve del mismo tipo y sendas ventanas individuales diferentes en la parte anterior de cada fachada lateral. Así cada lado del claristorio tiene un total de diez ventanas. En el cristianismo, diez es el número de los Mandamientos del Decálogo; diez son las parábolas de las diez lámparas, de las diez vírgenes, de los diez talentos; los diezmos debían ser entregados a Dios (Cooper, 2012). Tanto para los cristianos como para los pitagóricos, diez es el número perfecto; contiene al mismo tiempo lo bueno y lo malo, lo par y lo impar, lo móvil y lo inamovible; contiene el poder

activo de todos los números; es el principio de toda vida y de toda inteligencia, representa la vida divina y el ser en su perfección, porque no es solo la suma de diez unidades, sino también la unidad de esta suma (Mallinger, 2008).

En este segundo registro las dos ventanas en el ábside de la iglesia. El dos es también un número muy importante para el cristianismo. A parte de valor simbólico bíblico del número dos (Adán y Eva), Los dos son un símbolo de toda dualidad, concepto dicotómico u oposición; es el número de todas las ambivalencias y las duplicaciones, a partir de la primera y más radical de las divisiones: el creador y la criatura, el blanco y el negro, el bien y el mal, el masculino y el femenino, la materia y el espíritu, día y noche, vida y muerte, hombre y animal, cielo y tierra, Dios y el diablo, arriba y abajo, sol y luna, etc. Puede ser que la tendencia a ordenar en pares de opuestos complementarios esté conectada al hecho de que el hombre mismo está compuesto de dos partes: una buena y una mala, o incluso la diferencia física primordial entre un hombre y una mujer. Así mismo en la arquitectura de la Iglesia de Zaruma este número es una constante en todos los ámbitos: ventanas divididas en dos batientes, biforas con características góticas, dos lados de ventadas del claristorio, dos aguas para cada techumbre, dos ingresos principales, dos ventanas frontales principales, entre otros aspectos.

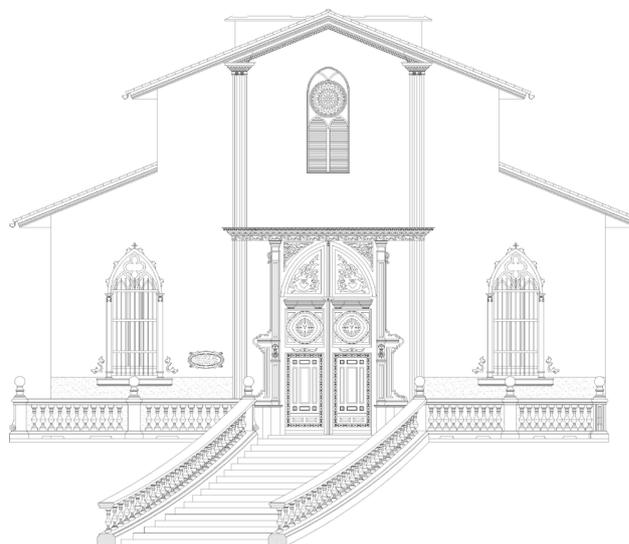


Figura 4. Levantamiento fotogramétrico de los dos primeros ordenes externos: el primer orden externo (planta baja con naves laterales y sus cuatro subdivisiones dichas registros A, B, C y D). El primer registro "A" está formado por la altura que corre desde la línea de tierra hasta el inicio de las ventanas de las naves laterales; el segundo registro "B" está formado por el muro liso de color claro donde se encuentran emplazadas las ventanas de las naves laterales y constituye el registro principal del primer orden externo; el tercer registro "C" está formado por una cornisa que remata de las naves laterales; el cuarto registro "D" es la cubierta de las naves laterales o la altura proyectada en alzado de esta cubierta inclinada.

El tercer orden abarca la distancia desde la cúspide de la nave central hasta el friso de la primera planta de la torre-campanario. Este tercer orden se divide en dos registros “H” (muro con láminas de aluminio corrugado donde se emplazan las bíforas con ojiva) e “I” (cornisa que remata la primera planta de la torre-campanario).

Los cuatro lados de la envolvente de la primera planta de la torre-campanario se caracterizan sobre todo por las pilastras que destacan hacia fuera de la superficie vertical del muro recubierto de láminas de aluminio en grupos de cuatro por cada lado; cabe indicar que las pilastras giran a 45° alrededor de cada esquina, de tal modo que la sección horizontal, como lo muestra el levantamiento arquitectónico, tiene una forma particular similar a una greca romana que se cierra en un cuadrado correspondiente a esta primera planta. Otra característica del tercer registro externo es su particular cornisa ya descrita anteriormente.

La ságoma de la cornisa es la misma; es decir, está constituida por las mismas bandas decorativas, coronando el tercer orden externo a todo lo largo de su perímetro. Igualmente, la planta tiene una forma de greca romana en conformidad con los muros recubiertos de aluminio bajo estantes.

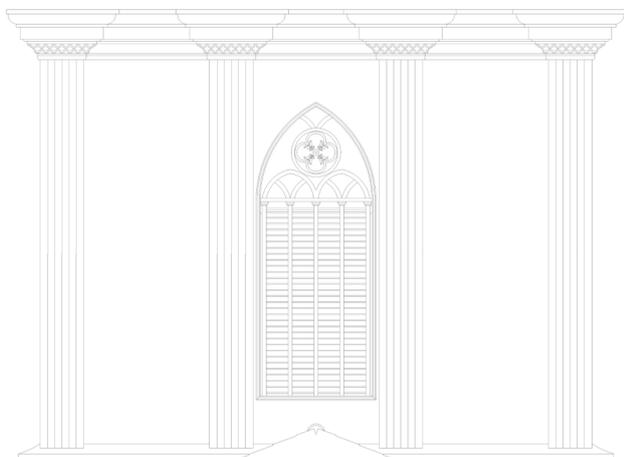


Figura 5. Levantamiento fotogramétrico de tercer orden externo (primera planta de la torre-campanario y sus dos subdivisiones dichas registros H e I). El registro “H” cubre la altura desde el arranque de la torre-campanario hasta el inicio o la base de la cornisa correspondiente. Este registro es aquel que como ya se explicó está recubierto por láminas de aluminio con pilastras del mismo material y contiene las falsas bíforas de madera. El registro “I”, la cornisa correspondiente del tercer orden externo, tiene una ságoma irregular cuya sección deja ver claramente las características neoclásicas de su diseño.

El cuarto orden se extiende verticalmente a lo largo de la segunda planta de la torre-campanario. Este cuarto orden también se divide en dos similares registros “J” (muro

con láminas de aluminio corrugado donde se emplazan las cuadríforas ciegas con ojivas y los relojes de la torre-campanario) y “K” (friso-cornisa que remata la segunda planta de la torre-campanario).

El número simbólico que domina los órdenes tercero y cuarto es precisamente el cuatro, del cual ya se ha explicado su significancia. Cuatro son los lados de la torre-campanario en sus dos pisos, cuatro las ventanas, de cada orden, que miran hacia los cuatro puntos cardinales. Cada orden se subdivide en tres partes verticales, y en dos y tres registros respectivamente.

El cuatro es un número par, así como el dos y está fuertemente vinculado en la arquitectura de toda la iglesia, no solo en alzados —los registros que son la materia de esta investigación— sino también en la mayoría de sus plantas que tienen formas cuadrangulares vinculadas con el cuatro.

Las plantas del tercer y cuarto orden de la torre-campanario son cuadradas. El cuadrado es símbolo de lo terrestre y el círculo como contraposición es símbolo de lo celestial. Como se ha dicho, “el cuadrado es una de las figuras geométricas más frecuentes y universalmente utilizadas en el lenguaje de los símbolos.

Es uno de los cuatro símbolos fundamentales, junto con el centro, el círculo y la cruz” (Chevalier y Gheerbrant, 1997). El cuadrado recuerda todo lo que pertenece al mundo terrestre, y más específicamente a la tierra. Además, es el símbolo del universo creado, en oposición al símbolo del Creador, el círculo. El simbolismo del cuadrado está vinculado al del número cuatro, cuya forma y número están presentes a lo largo y ancho de la Iglesia de Zaruma.

Finalmente, el quinto orden está ocupado por toda la altura de la linterna de la iglesia que va desde el friso-cornisa de la segunda planta de la torre-campanario hasta la aguja de la linterna.

Este último orden a su vez se subdivide en tres registros: “L” (altura proyectada del tramo piramidal truncado de sección octagonal que va desde el friso-cornisa de la segunda planta de la torre-campanario hasta el inicio del siguiente tramo), “M” (altura recta del tramo de sección octagonal que va desde la cúspide del registro “L” hasta la base de la cúspide) y finalmente “N” (altura proyectada del tramo piramidal no truncado de sección octagonal que va desde la cúspide del registro “M” hasta la aguja del pináculo de la linterna de la torre-campanario).

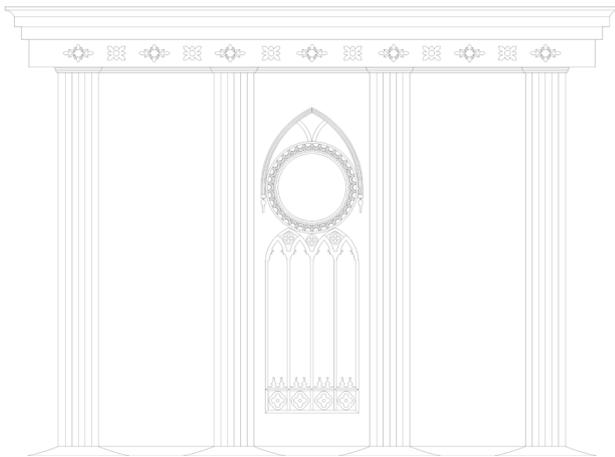


Figura 6. Levantamiento fotogramétrico de cuarto orden externo (segunda planta de la torre-campanario y sus dos subdivisiones dichas registros J y K). El registro "J" cubre la altura desde el arranque del cuarto orden hasta el inicio o la base de la cornisa correspondiente. El registro "K", la cornisa correspondiente del cuarto orden externo, tiene una ságoma muy irregular y muy diferente de aquella del tercer orden externo en cuanto a diseño y dimensiones.

El quinto orden externo, simbólicamente cambia del cuatro al ocho, cuyo número representa los lados en que se divide la llamada linterna de la torre, y su sección de planta octagonal. A partir de este último orden, todo se convierte en ocho elementos con un diseño basado en el octágono: ocho ventanas, ocho arcos ojivales flamígeros sobre las ventanas, ocho caras del último registro o cúspide, y, sobre todo, ocho elementos decorativos en el perímetro base de este orden: cuatro torretas mayores en las esquinas, y ocho torretas menores divididas en grupos de dos por cada uno de los cuatro lados.

Para los cristianos, ocho es el número de regeneración, de renacimiento (Cooper, 2012). La pila bautismal y el baptisterio son octagonales porque simbolizan un lugar de regeneración. El octavo día viene después de los seis días de la creación más el sábado. Ocho es el número que anuncia la futura era eterna, indica no solo la resurrección de Cristo, sino también la del hombre. Si el número siete se manifiesta como el número por excelencia del Antiguo Testamento, el ocho corresponde al Nuevo Testamento. Después del séptimo día, llega el octavo, que marca la gloria de los justos y la condena de los malvados. El octavo día es el símbolo de la transfiguración, de la resurrección de Cristo y de la promesa de la resurrección del hombre renovada por la gracia (Chevalier y Gheerbrant, 1997). Ocho es el número de la resurrección porque tuvo lugar el octavo día (Ronchetti, 2004). Ocho es el número de lados de los baptisterios y la fuente bautismal de la Iglesia de Zaruma no es la excepción.

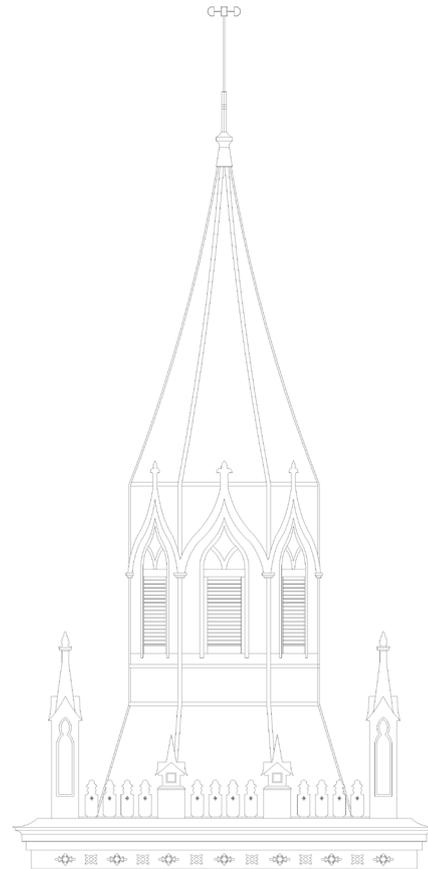


Figura 7. Levantamiento fotogramétrico de quinto orden externo (tercera planta de la torre-campanario y sus tres subdivisiones dichas registros L, M y N). El registro "L" es la altura proyectada del tramo piramidal truncado de sección octagonal que va desde el friso-cornisa de la segunda planta de la torre-campanario hasta el inicio del siguiente tramo. El registro "M" es altura recta del tramo de sección octagonal que va desde la cúspide del registro "L" hasta la base del pináculo. El registro "N" es la altura proyectada del tramo piramidal no truncado de sección octagonal que va desde la cúspide del registro "M" hasta la aguja del pináculo de la linterna de la torre-campanario.

Como valores simbólicos importantes de todos los órdenes en su conjunto, se tienen los números cinco y tres. Cinco es el número de órdenes que tiene la iglesia y tres los elementos en que estos se descomponen. El número cinco es el resultado de la suma del primer número par más el primer número impar ($2 + 3$), es el número de armonía y equilibrio y, además, es el número del centro.

El cinco es también "el símbolo del universo: dos ejes uno vertical y otro horizontal que pasa por el mismo centro". (Champeaux y Sterckx, 1980) Cinco es también el número de los sentidos y el número de la fortuna (riqueza, longevidad), paz, virtud y salud). Konsminsky Isidore (1998) hace una clasificación del valor simbólico del número cinco según las diferentes esferas a las que se refiere. Así, por ejemplo, en la esfera superior, lo que él quiere decir, como ubicado a un nivel divino, el cinco

indica las cinco letras del nombre de Dios (Yahvé); en la esfera del intelecto, el cinco indica los espíritus superiores, las inteligencias, los ángeles, las almas de los cuerpos celestes y las almas de los bienaventurados; y en la esfera infernal el cinco representa los tormentos (Konsminsky, 1998). El tres es, universalmente un número fundamental, expresa un orden intelectual y espiritual en Dios, en el cosmos y en el hombre. Sintetiza la triple unidad del ser vivo y resulta de la conjunción de uno y dos, producida por la unión del Cielo con la Tierra (Cairo, 2008). Pero sobre todo el tres es el número de la gran tríada: el Hombre, el Cielo y la Tierra.

El tres es el número perfecto por excelencia << omne trinum est perfectum >>. Las frases como “no hay dos sin tres” están inspiradas en este concepto (Chevalier y Gheerbrant, 1997). Nosotros, hombres, contamos de uno a tres antes de comenzar cualquier actividad. Para los cristianos, el número tres es muy importante, porque sintetiza el cumplimiento de la unidad divina: Dios es uno de cada tres personas. La Trinidad cristiana está compuesta por el Padre, el Hijo y el Espíritu Santo.

En el mundo cristiano, el tres es uno de los números a los que se le atribuyen el mayor número de virtudes. Para Cooper J. C. (2012), el tres es, de hecho, el número trinitario por excelencia; el tres también representa el alma y la unión del cuerpo con la mente en el Hombre y en la Iglesia.

Tres son los regalos de los Reyes Magos al Niño Jesús, tres las cruces del Calvario, tres días de la muerte de Cristo y, finalmente, tres apariciones (Rees, 1994). Los números cinco y tres son muy importantes en la configuración arquitectónica de la iglesia de Zaruma por lo que se encuentran presentes tanto en su concepción básica arquitectónica como en la detallística a menor escala en sus fachadas, ventanas y portones.

El tres por representar la trinidad se encuentra a lo ancho y a lo largo de la iglesia de Zaruma: tres son las naves y las divisiones de su fachada anterior, tres los pisos de la torre-campanario, así como los elementos atriforados de sus ventanas y otros elementos decorativos. Hay que evidenciar que todos estos órdenes mencionados en esta sección se reflejan también, de una u otra manera, en el objeto principal de estudio, que es la fachada principal de la iglesia.



Figura 8. Levantamiento urbano catastral del sector central de la ciudad de Zaruma donde se aprecia la ubicación en la parta elevada y plana del terreno junto a la Plaza de la Independencia (Plaza Central) como centro neurálgico y patrimonial de la ciudad, el emplazamiento estratégico con la fachada anterior y el portón de ingreso principal conectados con la calle Bolívar a través de la escalinata abalaustrada, y finalmente la orientación atípica con el noroeste – sureste. La ubicación, el emplazamiento y la orientación obedecen no solo a factores topográficos, sino también a aquellos estratégicos de modo tal que el monumento principal de Zaruma tenga una posición y vistas privilegiadas, y además sea el paso obligado desde el eje vial más importante hacia la plaza principal, desde donde parten las calles “Nueve de Octubre” y “Rocafuerte”, y donde se encuentran los edificios públicos más importantes de la ciudad.

CONCLUSIONES

La fachada de la Iglesia Matriz de Zaruma no tiene una orientación norte sur, sino una orientación que responde a las necesidades de implantación según la topografía compleja de la ciudad y la presencia de la Plaza de la Independencia.

La fachada principal del **primer orden externo** tiene ventanas de carácter gótico-flamígero, con arcos ojivales formando falsas bíforas que rematan tanto en su parte inferior con elementos florales y en su parte superior con lirios abiertos hacia el cielo. Existen también elementos clásicos en lo que se refiere a los capiteles que decoran las ventanas. La geometría resuelve las ventanas con pares de ojivas afrontadas y cuadrifolios de remate superior. El portón del ingreso principal igualmente tiene decoración clásica estilizada y decoración fitoforme geometrizada. Rosetones, grecas, corazones ardientes decoran el portón lateral, además de pilastras con pedestales, bases, fustos, y capiteles de reminiscencia clasicista que encuadran este portón lateral.

El **segundo orden externo** es menos complejo que el

primero. El primero tiene una decoración en talla en madera mucho más elaborada. El segundo orden se convierte en la versión simplificada del primero; se mantiene las formas abiforadas del gótico, pero tienden a un gótico americano, mientras que las del primer orden son más comunes en el gótico europeo. Es evidente que se jerarquizó este orden priorizándolo sobre el segundo por razones de exposición visual a los peatones que ingresan por los portones mirando las ventanas, las cuales que con su mayor área dejan pasar mayor cantidad de luz para iluminar tanto las naves laterales como la nave central, a través de la fachada principal o frontal.

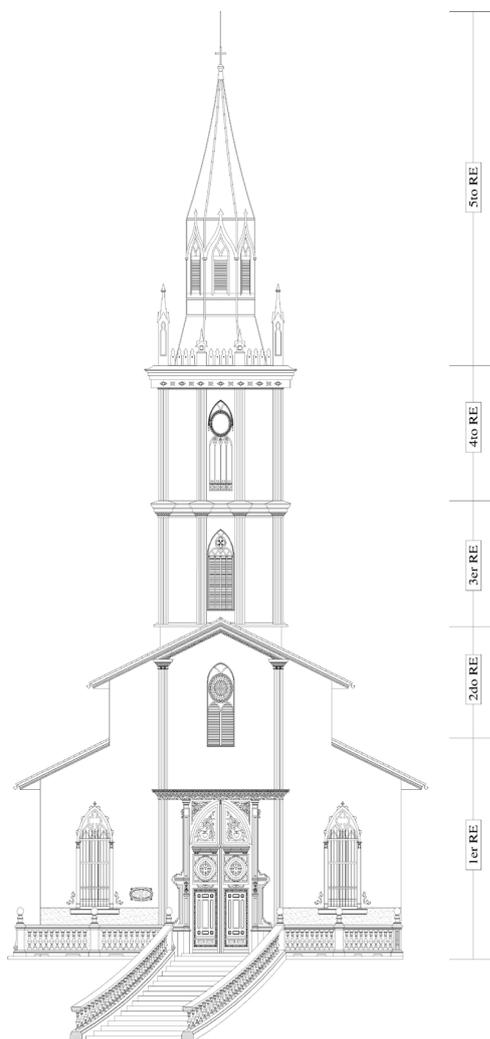


Figura 9. Aquí se puede reconocer, del primer orden externo, el lado anterior (fachada baja y alta frontal o principal). En el segundo orden externo se aprecia el lado anterior (fachada alta frontal). En el tercer orden externo, se ven los lados anterior y posterior (fachada anterior y posterior de la primera planta de la torre-campanario respectivamente). En el cuarto orden externo, se reconocen los lados anterior y posterior (fachada anterior y posterior de la segunda planta de la torre-campanario respectivamente). El quinto y último orden externo está constituido por los ocho lados de la linterna de sección octagonal que van desde su arranque al nivel del friso-cornisa del cuarto orden externo (segunda planta de la torre-campanario).

La torre campanario en sus **tres órdenes externos (tercero, cuarto y quinto)** dejan entrever la influencia del gótico en su versión americana más estilizada, lineal y simplificada. La fusión ecléctica de materialidad en la tectónica del cuerpo de la iglesia con aquella de la torre-campanario crea una simbiosis única, propia de la habilidad y creatividad de los artistas locales, la cual se refleja también en las construcciones residenciales de la ciudad.

La **arquitectura de la fachada principal** de la iglesia es evidentemente una mezcla de estilos, pero sobre todo podemos evidenciar la presencia del gótico flamígero con sus elementos en talla de madera y formas de llamas y velas encendidas que rematan las ventanas inferiores y otros elementos de la torre-campanario. La influencia de elementos de la antigüedad clásica griega es también evidente en sus fachadas principales donde se ubican ventanas y el portón. Las cornisas y frisos-cornisas están conformadas por bandas canónicas reinterpretadas localmente. Grecas romanas sirven también de inspiración para decorar ventanas y rematar los dos primeros ordenes externos.

La **geometrización decorativa** de elementos góticos y clásicos muestra la influencia del arte islámico, más puntualmente mozárabe, sobre ventanas, frisos y cornisas, pero sobre todo en el interior de la iglesia en estudio, donde esta influencia es mucho más notoria. En términos estrictos podemos concluir que la iglesia tiene características neoclásicas, neogóticas, arabescas. El neogótico norteamericano también deja su huella sobre la iglesia como lo evidencian las persianas de madera con características decorativas del gótico estilizado, y el pináculo octagonal que remata la torre campanario.

La **carga simbólica** de la decoración externa es muy extensa, pero se podría resumir a través de sus componentes de carácter cristiano, como los corazones ardientes de Jesús sobre los dos portones anterior y lateral; las cruces latinas que rematan algunos de los elementos de puertas y ventanas; las llamas estilizadas que representan no solo el sufrimiento de Cristo, sino también la llama que ilumina la humanidad con la presencia de Éste; las velas encendidas que evocan la iniciación a la lectura de la Biblia y como ésta nos guía y nos ilumina a través del camino oscuro sin no andamos de la mano de Dios; los ángeles que cuelgan de las falsas bíforas del primer orden externo que representan el Espíritu Santo que desciende y mira hacia la Tierra para llevar la buena nueva como vínculo entre lo celestial y divino con lo terrestre y mundano.

La **decoración fitoforme** recuerda la presencia de la naturaleza en la vida de los seres humanos, y la importancia que ésta tiene en los quehaceres diarios de la mano del Señor. Flores como lirios, símbolos de pureza y rectitud, se manifiestan en puertas y ventanas. Plantas y composiciones geometrizadas de plantas también tienen un objetivo similar y son la representación del paraíso terrenal. Ramos de uvas, sin cornucopias, simbolizan la abundancia terrenal que todos los hijos de Dios se merecen. Plantas y lirios afrontados representan la dualidad entre mundo celestial y terrenal. Pequeños serafines sobre nubes cuelgan de las falsas bíforas externas del primer orden.

La **simbología** de los números también está presente a lo largo y ancho de toda la iglesia. El tres representa La Trinidad; tres son las naves de la iglesia y las divisiones de los portales, tres son las divisiones de las triforas internas de las ventanas del primer orden externo. Las triforas internas del primer orden externo están diseñadas en base a la geometría del número tres y sus múltiplos.: tres arcos ojivales y seis mitades de arco. La fachada principal está dividida en tres partes que demarcan las tres naves. La torre-campanario tiene tres registros. El número tres se repite en los diferentes registros externos a nivel de decoración. Este número es uno de los más importantes en la simbología cristiana. El número dos y sus múltiplos también son de gran relevancia en el diseño decorativos de los registros externos.

El dos representa la dualidad entre el cielo y la tierra. Dos son los arcos ojivales de las bíforas y cuatro son los pétalos de los cuadrifolios. Dos son los pétalos de los lirios que se abren hacia el cielo y cuatro son los lados de la cruz latina. Dos son los componentes afrontados fitoformes y floriformes y cuatro son las divisiones horizontales de las ventanas del primer orden eterno. Cuatro son las partes principales en las que se dividen los rosetones y madera y doce las divisiones de los mismos. El doce representa en número de los apóstoles. El ocho representa el octavo día después de los siete de la semana y esto indica la eternidad divina, la creación y el infinito. Ocho son los lados de la linterna de la torre-campanario y el número base de elementos decorativos como del exterior de la iglesia. Nueve es el número de las ventanas del primer y segundo ordenes externos. Los números dos, cuatro, tres, seis, nueve y doce son los que se repiten constantemente tanto en sistemas estructurales, divisiones y sobre todo en elementos decorativos con una fuerte carga de simbolismo y significancia religiosa.

Los **colores** más significativos del externo de la iglesia son el blanco, el dorado y el café en dos tonalidades claro y oscuro. Prevalece la bicromía en alternancia

para crear un ambiente de poco contraste y una paleta limitada de colores. El rosa pálido, casi blanco también juega un papel preponderante sobre todo en grandes superficies como aquellas de la fachada principal y de las fachadas laterales. El color plata marca la diferencia con el cuerpo de la iglesia para resaltar la torre-campanario. En definitiva, los materiales de la torre campanario son de color plata; los tallados de madera son generalmente bícromos contrastando en blanco con el café oscuro, y el rosa pálido en superficies verticales. El dorado no juega un papel muy importante en el externo de la iglesia, pero sí en el interno, así como el azul oscuro y celeste. Hay que recalcar que el exterior de la iglesia es muy diferente al interior tanto en materiales, colores y decoración. A pesar que la simbología de los colores no fue parte del propósito de esta investigación, cabe indicar que esta también es representativa en la arquitectura de la Cristiandad, y también en la Iglesia de Zaruma, por esta razón también se hizo un breve recuento de la paleta de colores presente en este monumento del patrimonio zarumeño, orense y ecuatoriano.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bertocci, S. y Bini, M. (2012) Manual de Relevamiento Arquitectónico y Urbano. Edic. Ilustrada. Colección Arquitectura. Florencia: CittàStudi, pp. 28-30.
- Biedermann, H. (2004) Knaurs Lexicon der Symbole. (Droemersch Verlaganstalt Th. Knaur Nachf: München, 1989) Traducción italiana: Enciclopedia dei Simboli. Italia: Garzanti Editore.
- Cairo, G. (2008) Diccionario Razonado de Símbolos. Boloña: Forni.
- Champeaux, de G. y Sterckx S. (1980) Introducción al Mundo de los Símbolos. Paris.
- Chevalier, J. y Gheerbrant, A. (1997) Diccionario de Símbolos. (Ediciones Robert Laffont S. A. y Ediciones Júpiter, 1969) Traducción italiana: Dizionario dei simboli—miti sogni costumi gesti forme figure colori numeri. Milán: RCS Rizzoli Libri S. p. A.
- Cooper, J. C. (2012) Diccionario de Símbolos: Diccionario Ilustrado de Símbolos Tradicionales de Todo el Mundo. Pádova: F. Muzzio.
- Docci, M. y Maestri, D. (2009) Manual de Relevamiento Arquitectónico y Urbano. 5ta. Edición. Grandes Obras. Roma: Laterza.
- Feuerstein, G. (2001) El Lenguaje Espiritual de los Números. Milán: Armenia.
- Genovese, R. (1994) Técnicas para el Restauo. Notas sobre el Relevamiento Fotogramétrico. Colección Restauo. Roma: Edizioni Scientifiche Italiane.
- Konsminsky, I. (1998) Los Números Mágicos. Milán: Garzanti-Vallardi.
- Mallinger, J. (2008) Pitágoras y los Misterios. Roma: Atanòr

S. r. l.

- Rees, E. (1994) Símbolos Cristianos y Raíces Antiguas. Cinisello Balsamo: San Paolo.
- Romero, A. (2011) Imágenes de Zaruma: Fotografías de Ramón Jijón y León Jiménez. Zaruma: Ediciones Concejo Nacional de Cultura.
- Ronchetti, G. (2004) Diccionario Ilustrado de Símbolos: Símbolos, Emblemas, Atributos, Alegorías, Imágenes de los Dioses, etc. Milán: Hoepli.

Normativa para la preparación y presentación de trabajos por publicarse en la revista “AXIOMA”

La Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra (PUCE-SI), con el afán de difundir la investigación, la docencia y la cultura en la revista institucional indexada “Axioma”, considera necesario la siguiente normativa que hace referencia a la preparación y presentación de trabajos por publicarse en este medio informativo institucional.

I PRESENTACIÓN

- 1.1. Los docentes de la PUCE-SI o de otras universidades del país o del exterior, así como los investigadores y personal cualificado vinculado a la investigación y cultura que no necesariamente sean docentes universitarios previa su aprobación, presentarán trabajos que sean: artículos originales inéditos, informes técnicos, ponencias en congresos, artículos de revisión, artículos breves, cartas al editor, estados de arte, etc.
- 1.2. Todos los trabajos antes descritos deberán ser inéditos y originales, por lo que el autor deberá hacer constar al final del artículo su firma con el siguiente texto: “El presente trabajo es inédito y original y no ha sido publicado en ningún otro medio escrito o electrónico; además, antes de conocer la decisión de la revista, tampoco será presentado a otro medio”.
- 1.3. Los trabajos presentados a la revista son de exclusiva responsabilidad del autor y por ningún concepto puede entenderse que es la opinión de la PUCE-SI o de la editora de la revista.
- 1.4. Los trabajos escritos deberán presentarse en dos ejemplares impresos a la dirección: PUCE-SI, Ibarra, Av. Jorge Guzmán Rueda (Departamento de Investigaciones) acompañado de un CDROOM en formato WORD y etiquetado con todos los datos del autor; además se enviará un ejemplar en forma electrónica a los correos: prorect@pucesi.edu.ec; axioma@pucesi.edu.ec
- 1.5. Los requerimientos formales de presentación de los trabajos son:
 - Tipo de papel: INEN A4 (entregar dos ejemplares impresos)
 - Tipo de letra: Times New Roman
 - Tamaño de letra: N° 12
 - Interlineado: 1,15
 - Márgenes: 2,5 cm en todos los lados
- 1.6. Todo trabajo debe tener un título que no debe sobrepasar de veinte palabras; siendo opcional que se haga constar un subtítulo al trabajo escrito.
- 1.7. El límite máximo para redacción de todo el artículo original, informe técnico, ponencias, estado de arte y artículo de revisión será de cuatro mil (4000) palabras en el contador de palabras Word; el límite máximo de redacción para los artículos breves es de mil (1000) palabras, mientras que para las cartas al editor es de quinientas (500) palabras.

II ESTRUCTURA DE LOS TRABAJOS

- 2.1. Los artículos científicos deberán presentarse con la siguiente estructura:

A. Datos informativos

- Título de la investigación:
- Autor (nombres y apellidos completos):
- Dirección electrónica:
- Telf.: Fax:
- *En el caso de autores externos a la PUCE-SI, es necesario que se incluya el país de procedencia, la institución donde labora o a la que representa y el cargo que desempeña.
- País:
- Nombre completo de la Universidad:
- Carrera, facultad o departamento:
- Fecha de presentación (año, mes y día):

B. Resumen

Esta sección es redactada una vez concluido el informe final de investigación, el o los autores de la investigación deberán realizar una síntesis clara y concisa de los resultados y aspectos relevantes de la investigación. La redacción de este resumen ejecutivo será en un solo párrafo y máximo de trescientas (300) palabras.

Palabras claves. Se escribirán de tres a seis palabras que representen los principales descriptores del artículo.

C. Abstract

Constituye el mismo resumen ejecutivo pero traducido al inglés.

También habrá que traducir las palabras claves.

D. Introducción

En la introducción se informa al lector de la importancia y propósito que tiene la investigación. Por lo tanto, guíese en los siguientes puntos para su redacción:

- Indique qué le motivó a realizar esta investigación.
- Explique el interés que tiene este trabajo en el contexto científico, en la sociedad y en la comunidad.
- Qué investigaciones previas y qué resultados se han obtenido de temas iguales o similares.
- Cuál es el objetivo fundamental de esta investigación.
- No se recomienda más de una página de introducción, aunque en ciertos casos y dependiendo de las características de la investigación, se podría sobrepasar este límite.

E. Materiales y Métodos

Para la redacción de este punto guíese en los siguientes elementos:

- Explique qué tipo de investigación es (descriptiva, experimental, cuasi experimental, estudio de casos, básica, aplicada, tecnológica, etc.). Si fuere el caso, indique o describa el diseño del experimento.
- Indique cuál es la población o universo motivo del estudio e indique la muestra, criterios de selección y la fórmula que utilizó para determinarla.
- Explique los métodos, técnicas e instrumentos de investigación que utilizó; además, señale dónde y cuándo se los aplicó.
- Si fuere necesario, se tendrá que indicar qué insumos, materiales, aparatos y tecnologías se utilizaron.

F. Resultados y Discusión

Es importante que se resuman los resultados encontrados en la investigación; por lo tanto, en este punto se deberán redactar solo aquellos resultados trascendentes. Puede guiarse en los capítulos para hacer la redacción.

Paralelamente o como un apartado diferente (con otro título), puede ir incorporándose la discusión de los mismos; para ello, escriba en tiempo presente, ya que estos hallazgos se convierten en evidencia científica.

G. Conclusiones

Finalmente se redactarán las conclusiones más relevantes, aquellas que tienen relación directa con los resultados y su discusión. No es necesario que se transcriban todas las conclusiones del informe final de investigación.

También, si es apropiado, incluya las recomendaciones que sean oportunas.

H. Referencias bibliográficas

Utilizar las normas APA vigentes.

I. Título de figuras y tablas

Es necesario numerar las tablas y figuras (fotografías, mapas, dibujos lineales, etc.); para ello utilice los números arábigos secuencialmente como aparecen en el artículo.

Si las tablas o figuras no son de autoría de quien o quienes escriben al artículo, deberá en la parte inferior de estas indicarse el autor (res) y la fuente, para ello utilizar letra Times New Roman N°8.

2.2 No todos los artículos deberán ceñirse al esquema anterior; en el caso de los artículos breves, los informativos, los de opinión u otros, por sus características podrán tener una estructura diferente y propia planteada por el autor.

2.3 En los trabajos se podrán incluir cuadros, gráficos, mapas y fotografías, los mismos que no afectan a la extensión de 4000 palabras. Estos elementos deberán estar presentados en blanco y negro o a color y con una resolución de 300 dpi.

2.4 El tamaño de los gráficos, cuadros, mapas, fotografías, etc., podrá ser modificado el momento de la diagramación de la revista sin que para esto se necesite autorización del autor.

2.5 Todos los gráficos, cuadros, mapas y fotografías tendrán en su parte inferior, escrito con letra número 9, la fuente y el autor.

III. PROCESO DE APROBACIÓN DE LOS TRABAJOS

3.1. Una vez que el artículo sea entregado por el editor o director al Consejo Editorial Interno de la Revista, este lo revisará en sesión ordinaria o extraordinaria para emitir un informe de pertinencia o no del trabajo presentado. En caso de recibir un informe de “no pertinente”, será devuelto al autor. En el caso de que el Consejo Editorial Interno haya calificado como “pertinente” el trabajo, este será inmediatamente entregado a uno de los miembros del Consejo Editorial Externo, a quien cuyo perfil sea más relacionado con el artículo, para que este emita el informe definitivo, el mismo que podrá tener cualesquiera de los tres siguientes resultados:

- a. Se aprueba sin observaciones. En este caso se hará conocer al autor, mediante un oficio, esta decisión.
 - b. Se aprueba con observaciones. En este caso el artículo será devuelto al autor para que tome en cuenta las observaciones y lo entregue a la brevedad posible al director de la revista AXIOMA.
 - c. No se aprueba el trabajo. En este caso el Consejo Editorial Interno devolverá al autor mediante un oficio en el que se le indique que su trabajo no ha calificado para ser publicado en la revista AXIOMA.
- 3.2. En el caso de los artículos breves, artículos informativos o cartas al editor, solo pasarán por el mecanismo de aprobación del Consejo Editorial Interno.
- 3.3. El Consejo Editorial Interno podrá hacer revisiones de estilo, sin autorización del autor, siempre y cuando estas no cambien la estructura y el contenido del artículo.

IV. DISPOSICIONES FINALES

- 4.1. Las decisiones del Consejo Editorial Interno y Externo de la Revista AXIOMA son inapelables.
- 4.2. Lo no previsto en la presente normativa será resuelto por el o la Directora de la Revista.

Guidelines for the Preparation and Presentation of Articles for Publication in the Journal “AXIOMA”

The Pontifical Catholic University of Ecuador in Ibarra (PUCESI), in an effort to disseminate research, teaching and culture in its institutional indexed journal “AXIOMA”, asks that you take into account the following guidelines which refer to the preparation and submission of papers for publication in its informative institutional medium.

PRESENTATION

- 1.1. Teachers of PUCESI or other universities in Ecuador or abroad, as well as researchers and qualified personnel linked to research and culture who are not necessarily university teachers, prior to approval, may submit articles that are: unpublished original articles, technical reports, papers given at conferences, review articles, short articles, letters to the editor, art reviews, etc.
- 1.2. All work described above must be unpublished and original, so the author must certify at the end of the article with the following text: “This work is unpublished and original and has not been published in any other written or electronic medium; furthermore before knowing the decision of the magazine, it will not be submitted to any another medium.”
- 1.3. Papers submitted to the journal are the sole responsibility of the author and under no circumstances should be understood as the opinion of the PUCESI or the magazine editor.
- 1.4. Two printed copies of the article must be submitted to: PUCE Ibarra, Ibarra, Av. Jorge Guzmán Rueda (Centro de Investigaciones) accompanied by a CDROM with the file in a WORD document and labeled with all the author's information. In addition, an electronic copy must be to the following (three) emails: prorec@pucesi.edu.ec; mposso@pucesi.edu.ec; axioma@pucesi.edu.ec
- 1.5. The formal filing requirements of the work are:
 - Type of paper: A4 INEN (submit two copies)
 - Font: Times New Roman
 - Font size: No. 12
 - Spacing between lines: 1.15
 - Margins: 2.5 cm on all sides
- 1.6. All work(s) must have a title that should not surpass twenty words; however, it is optional when it contains a subtitle to the written work.
- 1.7. The maximum limit for writing on all original articles, technical reports, conference papers, art reviews, and review articles is four thousand (4000) words in the word count for Word, the maximum limit for writing in short articles is one thousand (1000) words, while letters to the editor the limit is five hundred (500) words.

II. THE STRUCTURE OF THE ARTICLES

2.1. Scientific papers should be submitted with the following structure:

A. Informative data

- Title of Research:
- Author (complete names):
- E-mail: Tel: Fax:

* In the case of authors outside the PUCESI, it is necessary to include the country of origin, the institution where he/she works or represents, and the position he/she holds at that institution.

- Country:

- Full name of the university:
- major, faculty or department:
- Date of birth (year, month and day):

B. Abstract

This section is drafted once the final report is finished; the authors of the research must make a clear and concise summary of the results and relevant aspects of the investigation. The form of the abstract will be a single paragraph and a maximum of three hundred (300) words.

Keywords - write three to six words that represent the main descriptors of the article.

C. Introduction

The introduction informs the reader of the importance and purpose of the research. Therefore the following points act as a guide to its structure:

- Indicate the motivation to conduct the research.
- Explain the interest of this work in the contexts of science, society and community.
- What previous research and results have been carried out on the same or similar issues.
- What is the main objective of this research.
- It is not recommended that the introduction exceed one page, although in some cases and depending on the characteristics of the research, it could exceed this limit.

D. Materials and Methods:

For the wording of this part use the following elements as a guide:

- Explain what type of research (descriptive, experimental, quasi-experimental, case studies, basic, applied, technological, etc.). If that is the case, specify or describe the experimental design.
- If applicable, indicate what is the population or overall motive of the study and indicate the sample, the selection criteria, and the formula used to determine it.
- Indicate which methods, techniques and research tools were used. Also, indicate where and when they are applied.
- If applicable, note the supplies, materials, equipment and technologies that were used.

E. Results and Discussion

It is important to summarize the findings in the investigation, this is to say the author should write only pertinent results. Chapters can be used to guide the writing.

In the same or in a different section (with another title), the author may incorporate the discussion of the investigation however it is to be written in the present tense as these findings become scientific evidence.

G. Conclusions

In this section of the paper, the most important conclusions are drawn. This is to say, those that are directly related to the results and discussion. It is not necessary to transcribe all the conclusions of the final investigative report. Also, when appropriate, include recommendations.

H. References

Use the current APA rules

I. Titles of figures and tables

It is necessary to number the tables and figures (photographs, maps, line drawings, etc.). For numbering purposes use, Arabic numerals sequentially as they appear in the article. If tables or figures are not authored by the person or persons writing the article, at the bottom of these indicate the author(s) and source, for that use Times New Roman font, font size No. 8.

- 1.2 Not all the items must adhere to the above scheme, in the case of short articles, news reports, opinion articles or other types, by their nature can have a different unique structure utilized by the author.
- 1.3 The papers may include charts, graphs, maps and photographs. These items do not affect the length of 4000 words. These elements must be presented in black and white or color with a resolution of 300 dpi.
- 1.4 The size of graphics, tables, maps, photographs, etc., may be adjusted at the time of the layout of the magazine without prior authorization from the author.
- 1.5 All graphics, pictures, maps, photographs will have at the bottom, written in font size 9, the source and author.

III. APPROVAL PROCESS FOR ARTICLES

- 1.1 Once the article is delivered to the chief editor or the editorial board at the Internal Editorial Council of the Journal, the editor and council will review it at a regular or special meeting to issue a relevance report to determine if the work will be published. If it receives a decision of "not relevant" it will be returned to the author. In the event the Internal Editorial Board has designated "relevant" to work, the article will be immediately delivered to a member of the External Editorial Board, whose background is more related to the article, in order to issue the final report, which may have any of the following results:
 - a. It is approved without comment. In this case it shall be made known to the author, through the office of this decision.
 - b. It was approved with comments. In this case the item will be returned to the author to take into account the comments and submit the revisions as soon as possible to the editor of the journal AXIOMA.
- 1.1 The article was not approved. In this case the Internal Editorial Board will return the article to the author through the office in which he/she will be informed that their work was not chosen to be published in AXIOMA.
- 1.2 In the case of short articles, news articles or letters to the editor, they will only go through the approval stage of the Internal Editorial Board.
- 1.3 The Internal Editorial Board may make revisions concerning style without author's permission, provided this does not change the structure and content of the article.

IV. FINAL PROVISIONS

- 1.1 The decisions of the Internal and External Editorial Boards of the Journal AXIOMA are final.
- 1.2 Matters not covered by these regulations shall be decided by the Director of the Journal.

Sobre la portada:

Diseño abstracto, que obedece a un patrón basado en teselaciones matemáticas.

José David Cruz

La revista científica AXIOMA es editada por la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra. Se encuentra indexada desde el año 2012 en el directorio y catálogo en el Sistema Regional de Información en Línea para revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal - LATINDEX, con la finalidad de difundir los trabajos de investigación de los docentes que forman parte de la PUCE-SI y los investigadores externos. El proceso de publicación requiere de personal especializado que, en un ejercicio de revisión continua de los artículos estimulan el desarrollo de las competencias de los autores de universidades nacionales e internacionales y cuenta con una base de revisores de aproximadamente 70 investigadores especialmente internacionales.



Dirección: Av. Jorge Guzmán Rueda y Av. Aurelio Espinosa Pólit.
Ciudadela La Victoria, Ibarra-Provincia de Imbabura - Ecuador
Teléfonos: (593-06) 2615-631
Fax: (593-06) 2616-446
Código Postal: 100112 - Ibarra Ecuador
E-mail: prorect@pucesi.edu.ec, uci@pucesi.edu.ec
<http://www.pucesi.edu.ec>