

Estimado lector:

La producción editorial científica aumenta en el país tanto en calidad como en organización, en este año celebramos la creación de Scielo-Ecuador, un espacio en donde se visibiliza la producción científica de calidad; mostrando también el interés del estado en su mejoramiento y promoción. La Granja, Revista de Ciencias de la Vida, forma parte de esta selecta colección, y aplaude esta iniciativa consciente de la importancia que tiene la adecuada transmisión y visibilización de la información que nace de las investigaciones científicas.

De esta manera, y con mucho gusto presentamos el trigésimo número de nuestra colección empezando por las temáticas de conservación de la biodiversidad, tema de preocupación actual. En este caso, Leonardo Ordóñez-Delgado y su equipo de investigadores de la Universidad Técnica Particular de Loja analizan el estado del conocimiento del Parque Nacional Podocarpus. Por la misma línea, en una alianza entre la Universidad Tecnológica Indoamérica y la Universidad Iberoamericana, Patricio Yáñez y su equipo analizan el estado y perspectivas de conservación del oso de anteojos.

Desde el punto de vista de la agricultura sostenible, Víctor Sánchez y José Zambrano del INIAP, analizan el impacto de las tecnologías modernas sobre el rendimiento y producción agrícola. Mientras que, desde el campo de las ciencias veterinarias aplicadas al ganado vacuno, Orlando Quinteros y su equipo, en una alianza entre IKIAM y la Universidad de Rosario en Argentina, analizan el cruce de diferentes razas bovinas y sus impactos en los patrones de crecimiento. Mientras que Santiago Miranda y Cristian Albuja desde las Universidades Nacional de Córdoba en Argentina y Central del Ecuador,

analizan los efectos de la mastitis subclínica en los hatos lecheros.

A continuación, en una diversidad de temas, presentamos un análisis de la agresividad de los fenómenos naturales, Mercy Ilbay-Yupa liderando a los investigadores de La Universidad Nacional Agraria La Molina de Perú, la Universidad Técnica de Cotopaxi de Ecuador y el Instituto Geofísico del Perú nos presentan un estudio de la precipitación lluviosa sobre la Cuenca del Río Guayas. Por otro lado, y en la temática de los productos naturales, se presenta el análisis del aceite de la semilla de Sacha Inchi, liderado por Luis Romero y los investigadores de la Universidad de Guayaquil. Y en la temática del tratamiento de aguas los investigadores de la Universidad Politécnica Salesiana-UPS y la Universidad de Guayaquil, liderados por Lenin Ramírez nos presentan técnicas novedosas para la detección de antibióticos en cuerpos fluviales.

Para cerrar con broche de oro, dos artículos en la temática de desarrollo sostenible se presentan, el primero analizando la sostenibilidad de la pequeños productores de leche en la Sierra del Ecuador, liderado por Christian Franco y su equipo de investigadores de la Universidad Técnica de Ambato, mientras que desde la UPS conjuntamente con el Instituto Geográfico Militar, Gustavo Navas y su equipo nos presentan un análisis espacial de la cobertura en zonas de pobreza de las Unidades Educativas del Milenio.

Estamos seguros que este número seguirá contribuyendo al quehacer científico del país y será de utilidad en sus estudios e investigaciones.

Cordialmente,

Ph.D Ignacio de los Ríos Carmedano
Universidad Politécnica de Madrid
EDITOR EN JEFE

Ph.D Sheila Serrano Vincenti
Universidad Politécnica Salesiana
EDITOR EN JEFE



REVISIÓN SISTEMÁTICA DEL ESTADO DEL CONOCIMIENTO DE LOS VERTEBRADOS DEL PARQUE NACIONAL PODOCARPUS

SYSTEMATIC REVIEW OF THE STATE ABOUT THE KNOWLEDGE OF THE VERTEBRATES OF THE PODOCARPUS NATIONAL PARK

Leonardo Ordóñez-Delgado*¹ , Claudia Ramón-Vivanco²  y Valeria
Ortiz-Chalan³ 

¹ Laboratorio de Ecología Tropical y Servicios Ecosistémicos – EcoSs Lab. Universidad Técnica Particular de Loja, Departamento de Ciencias Biológicas, Calle París, San Cayetano Alto, Loja, Ecuador

² Grupo de Investigación Planning of Land and Social Systems - PLANOSS. Universidad Técnica Particular de Loja, Departamento de Ciencias Biológicas, Calle París, San Cayetano Alto, Loja, Ecuador

³ Titulación en Gestión Ambiental. Universidad Técnica Particular de Loja, Departamento de Ciencias Biológicas, Calle París, San Cayetano Alto, Loja, Ecuador

*Autor para correspondencia: lyordonez2@utpl.edu.ec

Manuscrito recibido el 12 de enero de 2019. Aceptado, tras revisión, el 24 de abril de 2019. Publicado el 1 de septiembre de 2019.

Resumen

El Parque Nacional Podocarpus es una de las áreas protegidas de mayor importancia y tamaño de los Andes Tropicales del sur de Ecuador. Desde hace mucho tiempo esta reserva ha sido el centro de atención de un importante número de investigadores que, entre otros elementos, han tratado de explicar diversos tópicos relacionados a la fauna que alberga. Sin embargo, hasta el año 2018 no se contaba con una sistematización adecuada de estas investigaciones. Con el objetivo de establecer el nivel de conocimiento alcanzado sobre los vertebrados del área protegida, se estructuró un proceso metodológico para la recopilación, sistematización y análisis de la información existente sobre esta temática. Se generó una base de datos de los estudios recopilados, con un total de 128 trabajos: 64 sobre aves, 26 de mamíferos, 22 sobre anfibios, 6 sobre reptiles, 2 sobre peces y 8 investigaciones que abarcan más de un grupo faunístico al mismo tiempo. El período con la mayor cantidad de publicaciones corresponde a la década del 2000. De las 16 localidades identificadas en donde se han efectuado trabajos sobre los vertebrados de esta área protegida, destacan con el mayor número de investigaciones Tapichalaca y Cajanuma, con 33 y 24 estudios, respectivamente. Esta información constituye la primera aproximación respecto del nivel de investigación alcanzado sobre los vertebrados que mantiene y protege este parque nacional.

Palabras clave: Fauna, aves, anfibios, reptiles, mamíferos, peces, Parque Nacional Podocarpus, Ecuador.

Abstract

The Podocarpus National Park is one of the most important and biggest protected areas of the Tropical Andes of southern Ecuador. This reserve has been the center of attention for a large number of researchers who, among other elements, have tried to elucidate various topics related to its fauna. However, there has not been adequate systematization of these investigations so far. In order to establish the level of knowledge reached on the vertebrates of the protected area, a methodological process was structured for the compilation, systematization and analysis of existing information on this subject. A database of the collected studies was generated with a total of 128 works: 64 on birds, 26 on mammals, 22 on amphibians, 6 on reptiles, 2 on fish and 8 research works involving more than one faunistic group at the same time. The period with the largest number of publications corresponds to the decade of the 2000. Among the 16 locations identified where work has been done on the vertebrates of this protected area stand out Tapichalaca and Cajanuma with the largest number of investigations, with 33 and 24 studies, respectively. This information constitutes the first approximation regarding the level of research achieved on vertebrates that maintains and protects this national park.

Keywords: Fauna, birds, amphibians, reptiles, mammals, fish, Podocarpus National Park, Ecuador.

Forma sugerida de citar: Ordóñez-Delgado, L., Ramón-Vivanco, C. y Ortiz-Chalan, V. (2019). Revisión sistemática del estado del conocimiento de los Vertebrados del Parque Nacional Podocarpus. La Granja: Revista de Ciencias de la Vida. Vol. 30(2):7-18. <http://doi.org/10.17163/lgr.n30.2019.01>.

IDs Orcid:

Leonardo Ordóñez Delgado: <https://orcid.org/0000-0002-4593-1728>

Claudia Ramón Vivanco: <https://orcid.org/0000-0002-6119-238X>

Valeria Ortiz Chalan: <https://orcid.org/0000-0003-2160-0964>

1 Introducción

A pesar de su pequeña superficie (283 561 km²), Ecuador se considera un referente en el tema de biodiversidad, debido a que su riqueza de especies, ecosistemas y elevados niveles de endemismo, entre otros factores, han influido para que el país sea reconocido como una de las naciones megadiversas (Mittermeier, 1997). Ecuador alberga al menos 4718 especies de vertebrados, entre ellos, 436 especies de mamíferos (Tirira, 2018), 1626 especies de aves (Freile y Restall, 2018), 609 especies de anfibios (Ron y col., 2019), 473 especies de reptiles (Torres-Carvajal, Pazmiño-Otamendi y Salazar-Valenzuela, 2018), 635 especies de peces dulceacuícolas, y 939 marinos y estuarinos (Jiménez-Prado, 2010). Además, más de 17748 especies de plantas vasculares se han reportado en el territorio nacional (Neill, 2012). Pero, a pesar de esta destacada realidad, el 36,25 % de las especies del país en el 2014 se consideraron amenazadas, ubicando a Ecuador en el primer lugar en cuanto a los países con especies amenazadas de Sudamérica (UICN, 2014).

Entre las estrategias que el Estado ecuatoriano ha empleado para enfrentar esta problemática está la creación y gestión de una red de áreas protegidas públicas, privadas y comunitarias, amparadas en la Constitución de la República (Constituyente, 2008). Las áreas protegidas se definen como la estrategia de conservación por excelencia (Primack y col., 1998; Dudley y Stolton, 2010; Watson, Dudley y Hockings, 2014) las mismas han evolucionado desde una visión exclusiva de conservación de biodiversidad a objetivos más diversos, entre ellos la provisión de beneficios sociales y económicos (Watson, Dudley y Hockings, 2014).

El Parque Nacional Podocarpus (PNP), localizada entre las provincias de Loja y Zamora Chinchipe, es una de estas áreas destinadas a la conservación de la biodiversidad y mantenimiento de los servicios ambientales de la región sur del país (Apolo, 2002; Calderón, 2002). Este Parque Nacional es parte del "hotspot" Andes Tropicales, el más rico en biodiversidad en el planeta (Myers y col., 2000) y de la Ecorregión Terrestre Prioritaria "Páramos de la Cordillera Central" (Dinerstein y col., 1995), ecorregión presente en Ecuador exclusivamente en los Andes del Sur, la misma que está conformada por una suerte de islas pequeñas de ecosistemas altoandinos, confinados a los picos de las montañas

centrales e internudos de los Andes por sobre los 3000 msnm (Cuesta y col., 2005).

Además, esta área protegida se ubica dentro de la depresión de Huancabamba, la barrera biogeográfica más importante de los Andes para la distribución de especies en sentido norte sur (Duellman, 1979; Cuesta y col., 2005; Ordóñez-Delgado, 2011). De ahí que se considere a este sitio como un centro de endemismo de plantas denominado Región de Huancabamba (Davis y col., 1997). Cuesta y col., (2005) proponen que es a este elemento geográfico al que se puede atribuir la baja similitud en la composición de flora y fauna de esta zona, respecto de los páramos de los Andes ubicados hacia el norte. Por otra parte, en el sitio en donde se localiza el PNP se sobreponen los centros de endemismo de los Andes del Norte y de Tumbes (Terborgh y Winter, 1983) y confluyen dos corrientes bioclimáticas, una proveniente de la Amazonía con grandes cantidades de humedad, y la otra del Pacífico, con la influencia de los vientos secos provenientes del norte de Perú (Ordóñez-Delgado, 2011).

Todas estas condiciones, sumadas a su irregular orografía, han influido para que se presenten en su interior varios microclimas, hábitats y nichos, dando como resultado una gran diversidad de flora y fauna, además de significativos niveles de endemismo (Cuesta y col., 2005; Ordóñez-Delgado, 2011). Esta área protegida constituye el eje de los esfuerzos de conservación en los Andes del Sur del país, entre otros, por el aporte en servicios ambientales a la región (Apolo, 2002). Del interior del área protegida nacen tres cuencas hidrográficas binacionales: Catamayo-Chira, Mayo-Chinchipe y Zamora; en su interior se localiza el sistema lacustre Lagunas del Compadre, reconocido como un sitio Ramsar (Humedal de Importancia Internacional) (Ordóñez-Delgado, 2011) y se constituye en el área núcleo de mayor tamaño de la Reserva de Biósfera Podocarpus El Cóndor, reconocida en el 2007 por la UNESCO (Serrano, 2008).

Son todos estos elementos los que han influido, desde hace mucho tiempo, para que la comunidad científica nacional e internacional haya mostrado interés en el desarrollo de estudios al interior de este territorio (Aguirre y col., 2002; Serrano, 2008). Sin embargo, las investigaciones efectuadas en el área protegida no han contado hasta el momento con un adecuado proceso de análisis y sistematización, al grado de desconocer el nivel que han alcanzado

hasta la actualidad o la dinámica experimentada a lo largo de su historia. Uno de los pasos iniciales para definir cuanto se conoce o desconoce de un tema dado es lo que se define como el “análisis del estado del conocimiento” que se conceptualiza como “el análisis sistemático y la valoración del conocimiento generado, en torno a un campo de investigación, durante un periodo definido” (Rueda, 2003).

El presente trabajo se fundamenta en este concepto y se orienta a establecer el “estado del conocimiento” existente hasta el momento sobre los vertebrados que alberga esta área protegida, las temáticas que en torno a este grupo de fauna se han investigado, la ubicación geográfica de los estudios, los vacíos de información existentes y las líneas de investigación prioritarias a futuro.

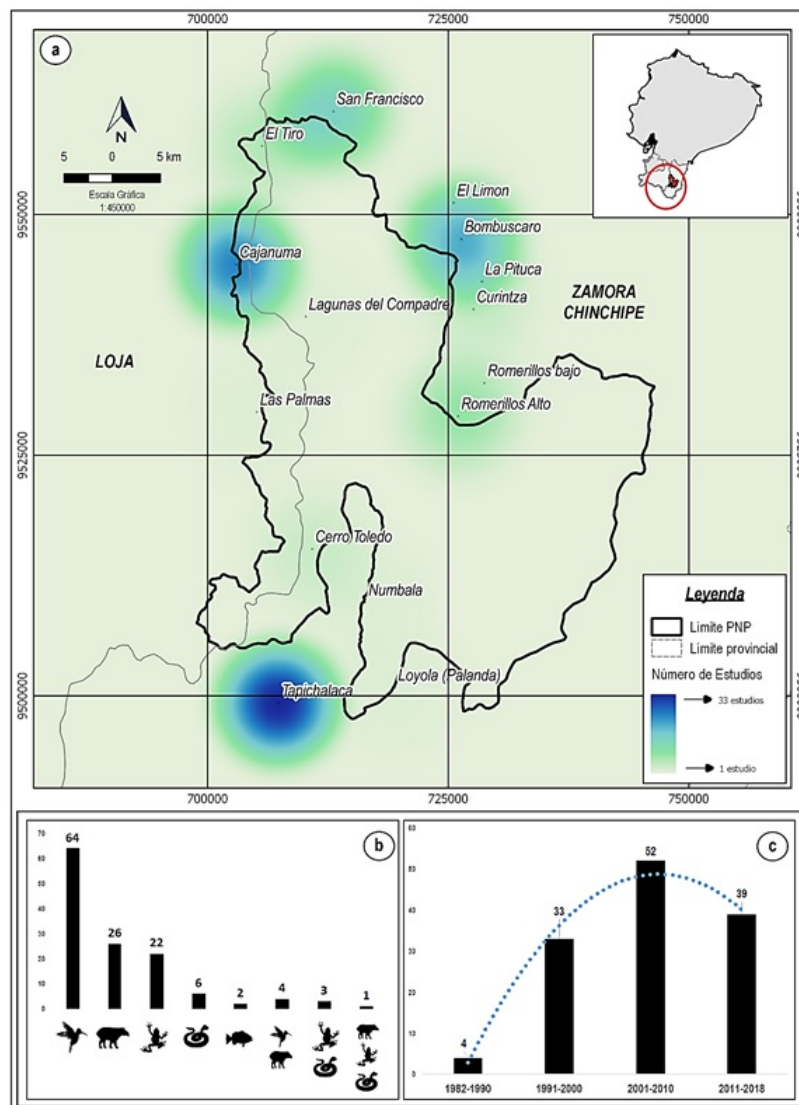


Figura 1. a) Representación gráfica del nivel de influencia geográfica de los estudios sobre vertebrados del Parque Nacional Podocarpus. b) Número de estudios por taxa. c) Número de estudios por rango temporal a partir de la declaratoria del área protegida.

2 Materiales y método

2.1 Área de Estudio

El Parque Nacional Podocarpus (PNP) se ubica entre Numbala y el Nudo de Sabanilla, en el límite fronterizo de las provincias de Loja y Zamora Chinchipe en el sur de Ecuador (Ordóñez-Delgado, 2011). Comprende una superficie de 146 280 ha y fue declarado oficialmente el 15 de diciembre de 1982 (Acuerdo Ministerial N° 0398, Registro Oficial. N° 404, 5 de enero de 1983) (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de Ecuador, 1983). Aproximadamente el 83 % del territorio de esta área protegida forma parte de la provincia de Zamora Chinchipe y el 17 % a la provincia de Loja. Su rango altitudinal se distribuye entre los 900 y 3650 msnm (Aguirre y col., 2002). La temperatura del sector fluctúa entre 20 y 25 °C en la zona baja (amazónica) y de 8 a 15 °C en la zona alto andina (Maldonado y Numa, 2002) (Figura 1a).

2.2 Métodos

El proceso de recopilación, análisis y sistematización de la información contempló los siguientes pasos: El área de trabajo para el análisis abarcó todo el parque nacional, considerando para esto sus límites oficiales. Sin embargo, debido a que varias localidades investigadas se encuentran inmediatamente fuera de los límites de la misma, se consideró ampliar el análisis a la zona de influencia inmediata del área. Se efectuó la búsqueda, recopilación, análisis y sistematización de la información sobre los vertebrados, en fuentes primarias y secundarias. Como fuentes primarias, se consideró la literatura científica, entre estas, publicaciones indexadas o con revisión por pares, además de libros con ISBN; literatura gris, que consideró a libros o documentos sin ISBN pero con aval científico (es decir documentos de investigadores reconocidos en el ámbito de trabajo del área protegida y la temática tratada en este documento), además de tesis de pregrado y posgrado de universidades que poseen repositorios de estas investigaciones en línea. Como fuentes de información secundaria se contempló el desarrollo de entrevistas realizadas a investigadores y entidades vinculadas al área protegida, entre estos: docentes de la Universidad Técnica Particular de Loja, Universidad Nacional de Loja y/o investigadores de ONG y entidades de investigación que han realiza-

do estudios sobre el Parque Nacional Podocarpus y sus alrededores. Finalmente, se tuvo acceso a la base de datos de permisos de investigaciones científicas manejada por la Coordinación Zonal 7 del Ministerio del Ambiente de Ecuador para esta área protegida.

Para la búsqueda de información en bases de datos científicas, así como en repositorios bibliográficos y revistas indexadas, se establecieron un conjunto de palabras clave en español e inglés. Luego de establecer las palabras clave, se utilizaron otros parámetros de optimización de búsqueda como, por ejemplo:

- Poner entre comillas ("") las palabras clave de búsqueda, para buscar una frase exacta.
- Usar el signo más (+) delante de las palabras del tema que se va investigar, para que todas estas sean tomadas en cuenta en la búsqueda en la web.
- Usar los operadores "OR" y "AND" en mayúsculas entre dos palabras clave para encontrar páginas que contengan alguna de estas en su texto.
- Usar el comando "Allintitle" seguido de las palabras clave el cual permitió encontrar documentos con estas palabras en su título.
- Usar el comando "Allintext" antes de las palabras clave para encontrar investigaciones que en su texto incluyan las palabras especificadas para la búsqueda.

Entre las palabras que se utilizaron para la búsqueda de información constan las siguientes: Parque Nacional Podocarpus Fauna del Parque Nacional Podocarpus Aves (mamíferos, anfibios, reptiles, peces) del Parque Nacional Podocarpus Vertebrados del Parque Nacional Podocarpus Nombre de las localidades: Cajanuma, Tapichalaca, Bombuscaro, San Francisco, Cerro Toledo, Numbala, Vilcabamba, por si solas, o sumadas al nombre del área protegida: Parque Nacional Podocarpus. Aves (o el nombre de cada grupo faunístico) más el nombre de las localidades descritas en el párrafo previo, más el nombre del área protegida.

Se consideró utilizar estos últimos nombres por cuanto son los sectores de acceso más importantes

al área protegida. Todas estas frases o palabras (salvo los nombres propios), fueron traducidas al inglés para ampliar la búsqueda a ese idioma. Con los parámetros mencionados se buscaron documentos en bases de datos y repositorios científicos tales como: Academia.edu, BioOne, Biodiversity Heritage Library, BirdLife International, Fauna Web Ecuador, Google Scholar, ResearchGate, SciELO, Science Direct, Scopus, Semantic Scholar, Web of Science. Por otra parte, se buscó en las bases de datos de tesis de pregrado y postgrado de las siguientes universidades: Universidad Técnica Particular de Loja, Universidad Nacional de Loja, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Universidad Central del Ecuador y Universidad del Azuay.

Un método adicional de búsqueda de información utilizado fue el tomar las referencias bibliográficas de los documentos recopilados como punto de partida para búsqueda de documentos de interés particular. Si alguna de estas referencias hacía mención a estudios realizados sobre vertebrados en el PNP y su zona de influencia inmediata, se procedió a la búsqueda del documento completo en la web u otra fuente de información.

Con la información obtenida se elaboró una matriz en Excel, que sirvió como base de datos para el análisis de la información. Esta matriz estaba conformada por los siguientes ítems: Número del estudio, grupo faunístico, autor/a/es/as, título, fecha de publicación, tipo de documento (artículo, tesis, libro, informe), área de conocimiento (ecología, diversidad, biogeografía, conservación, taxonomía), localidad de estudio, coordenadas y altitudes referenciales. Para documentos que omitían esta última información se definieron coordenadas referenciales de localidades cercanas a la localidad de estudio, por medio de la revisión detallada de la información mencionada en materiales y métodos de cada

documento o consulta a expertos.

Con la información recopilada se cuantificaron el número total de estudios, número de estudios por grupo faunístico, publicaciones por año, distribución geográfica y por pisos zoogeográficos. Los estudios que consideraban más de un grupo faunístico en la investigación, o dos o más localidades de estudio, fueron contabilizados por separado; es decir, si un estudio abarcaba aves y murciélagos, se contabiliza como un estudio multitaxa aparte, más no se contabiliza como un estudio de aves y uno de murciélagos, esto con la finalidad de evitar que el resultado del número de investigaciones se sobre-dimensione.

El análisis temporal de los estudios se efectuó por décadas, a partir de la creación del área protegida (1983), hasta diciembre de 2018. Para la distribución de los estudios respecto de los pisos zoogeográficos del Ecuador, mismos que corresponden a una clasificación general de la fauna del país conforme a su distribución altitudinal, se utilizó la propuesta de Albuja y col., (2012). De ahí que, conforme al rango altitudinal presente en el área protegida, se trabajaron con los siguientes pisos zoogeográficos: Subtropical oriental (1000 a 2000 msnm), templado (2000 a 3000 msnm) y altoandino (>3000 msnm).

Utilizando el programa QGIS (QGIS, 2018), se aplicó el estilo de simbolización de “mapa de calor” a las localidades georreferenciadas en donde se realizaron los estudios de fauna del PNP, utilizando la ponderación por puntos que contiene el número de estudios realizados en cada sitio, para determinar la intensidad del mapa. Se utilizó una gama de colores que va de verde (menor intensidad) a azul (mayor intensidad). Cabe recalcar que para la generación de este mapa no se tomó en cuenta la distinción de la taxa estudiada.

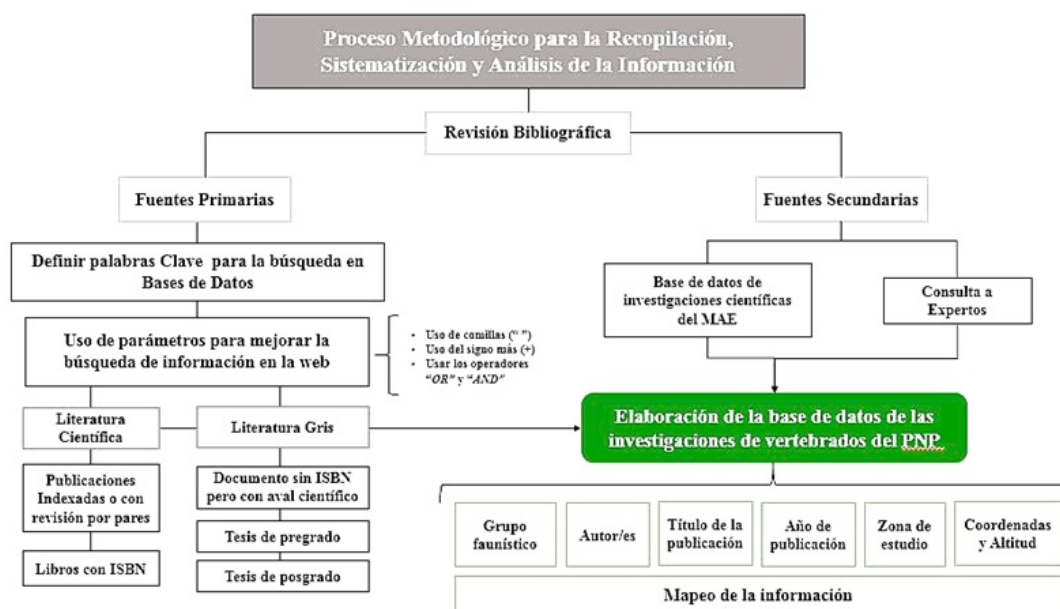


Figura 2. Esquema del proceso metodológico desarrollado para el análisis sistemático del estado de conocimiento de los vertebrados del Parque Nacional Podocarpus.

3 Resultados

3.1 Esquema metodológico desarrollado

El primer resultado del presente trabajo lo constituye la propuesta metodológica para la recopilación, análisis y sistematización de la información. A continuación, se propone el esquema gráfico resultante del proceso desarrollado (Figura 2).

3.2 Número de estudios

Se recopilieron 128 publicaciones sobre vertebrados del Parque Nacional Podocarpus y su zona de amortiguamiento. De estas, 84 (66%) corresponden a publicaciones científicas y 44 (34%) corresponden a literatura gris. Del total, 64 corresponden a aves (50%), 26 a mamíferos (20%), 22 a anfibios (17%), 6 a reptiles (5%) y 2 a peces (2%). Se encontraron ocho estudios multitaxa: cuatro, sobre aves y mamíferos (3%), tres sobre anfibios y reptiles (2%); y, un estudio de mamíferos, anfibios y reptiles (1%) (Figura 1b).

3.3 Número de publicaciones por rango temporal

Respecto del rango temporal, la década inicial de creación del área protegida (1982-1990) constituye el periodo con menor número de publicaciones, mismas que en las siguientes décadas se incrementan significativamente. Sin embargo, en la década actual se evidencia un decrecimiento de al menos el 25% en cuanto al número de investigaciones realizadas en esta región sobre los vertebrados que alberga (Figura 1c).

3.4 Distribución geográfica de los estudios

En base al análisis de la información recopilada, se identificaron 16 localidades estudiadas para el área protegida, 15 corresponden a sitios individuales y una asignada a los estudios que abarcan a toda el área protegida. De las 128 publicaciones identificadas, 89 (69%) corresponden a publicaciones que abarcan una sola localidad de estudio, 10 (8%) a trabajos que abarcaron dos localidades, 10 (8%) a estudios con tres localidades (8%); y, 19 (15%) a trabajos que se plantean como investigaciones que abarcan la totalidad del PNP (Figura 1a). Sin embargo, si se contabilizan el número de investigaciones de

las cuales ha sido objeto cada localidad que forman parte de las 128 publicaciones mencionadas previamente, destacan Tapichalaca ($n = 33$) y Cajanuma ($n = 24$) como los sitios con mayor número de investigaciones efectuadas. Le siguen los estudios que abarcan en su descripción a toda el área protegida PNP ($n = 19$), luego Bombuscaro ($n = 18$), San Francisco ($n = 14$) y Romerillos Alto ($n = 7$). Mientras que el resto de localidades han sido objeto de trabajo de cinco procesos de investigación o menos.

3.5 Número de publicaciones por piso zoogeográfico

Respecto de la distribución de los estudios en base a la clasificación de los pisos zoogeográficos del

Ecuador se puede mencionar que el piso Templado (2000 a 3000 msnm) constituye la franja altitudinal más estudiada del área protegida con 60 investigaciones en total. Le sigue el piso subtropical oriental (1000 a 2000 msnm) con 35 investigaciones y 21 investigaciones abarcan los tres pisos zoogeográficos presentes en el parque (Templado, subtropical oriental y altoandino). Mientras que los pisos más elevados poseen 12 investigaciones en total, 10 que abarcan el piso subtemplado oriental y templado, y dos que abarcan los pisos templado y altoandino (Figura 3).

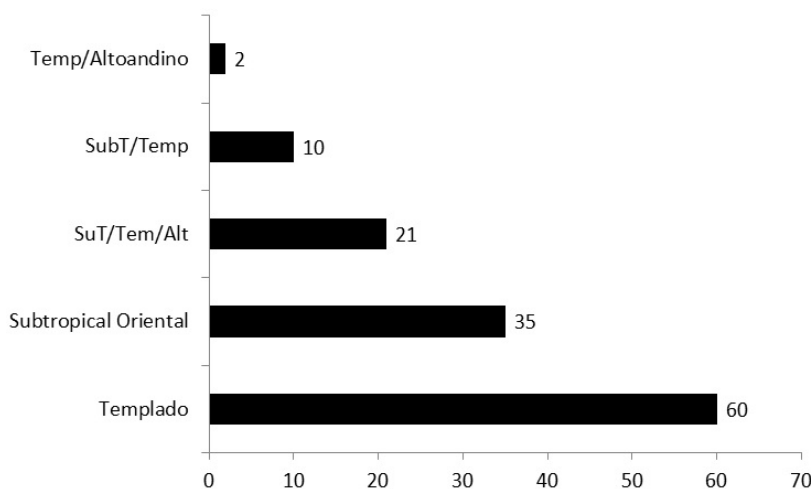


Figura 3. Número de publicaciones por piso zoogeográfico. Códigos: Temp/Altoandino: Templado/Altoandino, SubT/Temp: Subtropical Oriental/Templado, SuT/Tem/Alt: Subtropical Oriental/Templado/Altoandino.

3.6 Temáticas de estudio

Al analizar los estudios por el área de conocimiento investigada se definió que los temas de ecología ($n=51$) y diversidad ($n=30$) principalmente listados de especies, dominan sobre el resto. Se continúan en importancia publicaciones sobre distribución (registros inusuales y ampliaciones de rango de distribución) ($n=18$), conservación ($n=15$) y taxonomía ($n=13$), y finalmente se puede mencionar un solo estudio sobre bioacústica, desarrollado en el área protegida (Flanagan, 1998) (Figura 4).

4 Discusión

Los análisis sistemáticos de información han sido ampliamente utilizados en ámbitos relacionados a la medicina (Urrútia y Bonfill, 2010; Manterola, Astudillo y Arias, 2013); sin embargo, como se demuestra en el presente caso, este tipo de procesos, por contemplar lineamientos esquemáticos de trabajo, presentan la facilidad de ser moldeados y aplicados a otras ramas del conocimiento. El método aquí desarrollado es similar con otras propuestas metodológicas existentes, por ejemplo: Medina-López, Marín-García y Alfalla-Luque, (2010) o Manterola, Astudillo y Arias, (2013). Esta sistematiza-

ción constituye el primer esfuerzo de este tipo desarrollado para un área protegida del país y propone lineamientos metodológicos (Figura 2) que pueden ser fácilmente replicados en otras áreas protegidas, o incluso, en otros procesos o tipos de investigación. Por otra parte, es indiscutible la importancia que en la actualidad poseen los sistemas de información geográfica, entre otros elementos, puesto que estas herramientas permiten representar gráficamente los resultados de diversas investigaciones (Greene y Pick, 2012). Es por esto que, como uno de los pasos fundamentales del presente trabajo, se contempló el mapeo de la información generada con el propósito de evidenciar el grado de influencia territorial de las investigaciones recopiladas, los vacíos geográficos y temáticos sobre el conocimiento de los vertebrados existentes en el área protegida.

Sobre los grupos taxonómicos estudiados se puede acotar que la realidad encontrada es similar a la de otras latitudes. Es bien conocido que las aves y mamíferos se consideran los grupos taxonómicos me-

jor conocidos del planeta (Stotz y col., 1996; Larsen y col., 2012), hecho también propuesto para Ecuador (Albuja y col., 2012). Este estudio corrobora esta tendencia y permite evidenciar que el grupo de vertebrados más estudiado del PNP corresponde a las aves (50% de los estudios en el área protegida), seguido por investigaciones sobre los mamíferos (20%) del sector (Figura 1a). El interés por la biodiversidad faunística existente en el territorio correspondiente al PNP posee una larga data, esto lo denotan la visita a esta región de un importante número de investigadores del American Museum of Natural History entre los años 1854 y 1920 (Chapman y col., 1926; Anthony, 1922). Sin embargo, luego de estos trabajos las investigaciones en esta zona fueron esporádicas, siendo retomadas a partir de los años setenta con las expediciones de Louisiana State University Museum of Zoology (LSUMZ); y con mayor fuerza a partir de finales de los años ochenta por parte de Zoological Museum of Copenhagen (ZMUC) (Bloch y col., 1991).

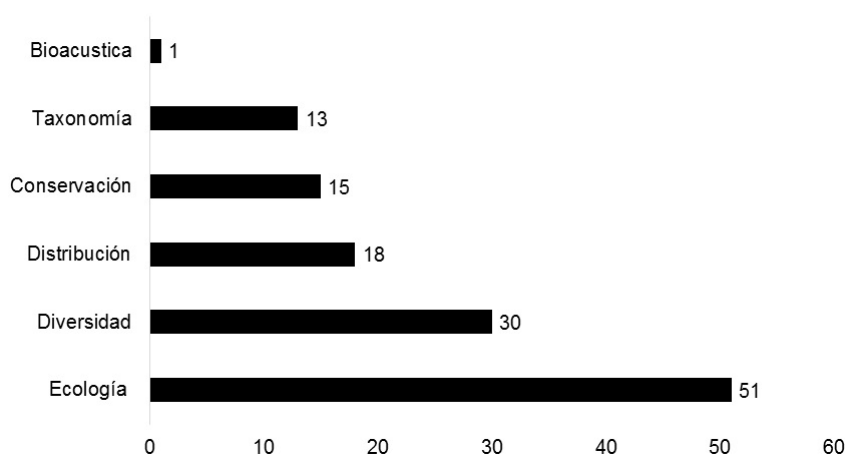


Figura 4. Número de publicaciones por temática de estudio sobre los vertebrados del Parque Nacional Podocarpus.

Estos trabajos cimentaron el interés por la zona en los años siguientes a la declaratoria del área protegida. Uno de los factores más influyentes para que este interés continúe hasta la actualidad, principalmente por la comunidad ornitológica, tiene relación con el descubrimiento de dos especies de aves en esta región en menos de una década (1992, 1997) (Krabbe y col., 1999; Coopmans y Krabbe, 2000). La *Elaenia Tropicandina* (*Myiopagis olallai*) fue descubierta en el sector de Bombuscaro en 1992 (Coopmans y Krabbe, 2000) y la *Grallaria Jocotoco* (*Gra-*

llaria ridgelyi) fue descubierta en 1997 en el sector de Tapichalaca al sur del PNP (Krabbe y col., 1999). Adicionalmente, especies como *Cotinga Ventricastaña* (*Doliornis remseni*) fueron registradas por primera vez para el país en el sector de Cajanuma en 1989 (Robbins, Rosenberg y Molina, 1994), todo esto en un territorio que no supera las 147 000 ha. Entre otros, es la importancia demostrada sobre la biodiversidad del sector la que influyó para que a finales de los años noventa la ONG Naturaleza Cultura Internacional establezca una estación científ-

ca en el límite norte del área protegida, en la cual, con financiamiento de la Fundación Alemana para la Investigación Científica se ejecutan diversas acciones de investigación (Kiss y Bräuning, 2008), los mismos que se mantienen hasta la actualidad. Son los factores expuestos los que contribuyeron para que el número de investigaciones publicadas para el área protegida a partir de la década del año 1990 se incrementen de manera significativa. Aunque, en la actualidad (2011-2018), se ha experimentado un decrecimiento de al menos el 25 % en este tipo de trabajos (Figura 1c).

Gran parte del flanco oriental del área de estudio lo constituyen bosques y páramos prístinos, estado atribuido a lo agreste y el difícil acceso a los mismos (Remache y col., 2004; Kiss y Bräuning, 2008), de ahí que aun persistan en el área protegida importantes zonas sin información sobre la riqueza biológica que albergan (Figura 1a). Albuja y col., (2012) proponen que la información sobre la fauna de Ecuador se encuentra dispersa y presenta dificultades en su acceso. El presente trabajo se desarrolla después de 35 años de la declaratoria oficial de esta área protegida y evidencia que existe un importante número de publicaciones en torno al objeto de estudio, pero estas en su mayoría están dispersas y no se encuentran disponibles para los actores institucionales vinculados a la gestión del área, principalmente para los tomadores de decisiones como el Ministerio del Ambiente de Ecuador.

El presente análisis permite definir algunas prioridades de investigación para el área protegida, tanto en el ámbito geográfico como temático. Los peces y reptiles del PNP requieren atención prioritaria, ya que poseen pocos estudios hasta el momento; además, es necesario incrementar el conocimiento sobre la biodiversidad y ecología de la fauna en el centro y sureste del parque. Los resultados evidencian que la mayoría de los estudios efectuados sobre los vertebrados del sector han sido desarrollados en sus bordes o su área de influencia inmediata, siendo el sistema lacustre Lagunas del Compadre el que cuenta con un estudio sobre los anfibios del sector. Extensos territorios internos del parque evidencian falencias en cuanto a investigación, principalmente en el centro y sureste del área. Sin embargo, es conveniente señalar que el acceso a estos sitios es difícil, de ahí que para llenar estos vacíos de información se requerirán significativos esfuerzos de trabajo.

Por otra parte, temáticas que poseen significativa potencialidad de desarrollo en el sitio, como bio-

acústica, deberían contar con nuevos esfuerzos de trabajo o sistematización. Esto por cuanto en la actualidad existen plataformas en línea (ej. Xeno-Canto, Internet Bird Collection) que albergan una importante colección de registros (fotográficos y auditivos) de aves de esta área protegida; sin embargo, este material no ha sido sistematizado o analizado en el contexto de aporte al área.

5 Conclusiones

El presente trabajo constituye una línea de base sobre las investigaciones de vertebrados efectuadas en este Parque Nacional, el mismo que permitirá priorizar y monitorear los futuros esfuerzos en esta temática para el sector. Si bien generalmente los análisis sistemáticos de información se enfocan en la recopilación y sistematización de la literatura existente en bases de datos científicas, este documento evidencia la importancia de incluir información gris de ámbito local para trabajos como el presente. Un 34 % (n=44) de los estudios que componen los resultados de este trabajo corresponden a literatura gris, de ahí la importancia en la recopilación e inclusión de esta información en este tipo de revisiones.

La metodología propuesta constituye una valiosa oportunidad para entidades a cargo de una o más áreas protegidas, su aplicación es sencilla, de costo mínimo, y adaptable a diversas temáticas y realidades. La misma puede ser desarrollada por entidades estatales como el Ministerio del Ambiente, Gobiernos Autónomos Descentralizados o para áreas protegidas comunitarias o privadas. Es evidente que un claro conocimiento sobre los procesos de investigación efectuados en un sector determinado permitirá fortalecer la gestión del sitio.

Referencias

- Aguirre, Z. y col. (2002). «Botánica Austroecuato-riana: Estudios sobre los Recursos Vegetales en las provincias de El Oro, Loja y Zamora Chinchipe». En: *Ediciones Abya Yala, Quito. EC*, 1-28. Online: <https://bit.ly/2Ywe5wd>.
- Albuja, L. y col. (2012). *Fauna de vertebrados del Ecuador*. Escuela Politécnica Nacional. Online: <https://bit.ly/2ZGLK2J>.
- Anthony, H. (1922). «Preliminary report on Ecuadorean mammals. No. 2». En: *American Museum Novitates* 32, 9. Online: <https://bit.ly/2yKLxZE>.

- Apolo, W. (2002). «Botánica Austroecuatoriana. Estudios sobre los recursos vegetales en las provincias de El Oro, Loja y Zamora Chinchipe». En: ed. por Z. Aguirre, J. M. Madsen y H. Cotton E. and Balslev. Quito: Editorial Abya Yala. Cap. El Parque Nacional Podocarpus: Perspectivas de conservación y desarrollo, págs. 411-431.
- Bloch, H. y col. (1991). «A survey of the montane forest avifauna of the Loja province, southern Ecuador». En: *ICBP Study Reports* 49, Online: <https://bit.ly/2ZGMtRv>.
- Calderón, S. (2002). «Botánica Austroecuatoriana Estudios sobre los recursos vegetales en las provincias de El Oro, Loja y Zamora-Chinchipe». En: ed. por Z. Aguirre y col. Quito: Abya-Yala. Cap. El Parque Nacional Podocarpus y fundamentos legales que lo respaldan, págs. 433-451.
- Chapman, F. y col. (1926). *The distribution of bird-life in Ecuador: A contribution to a study of the origin of Andean bird-life*. Order of the Trustees, American Museum of Natural History. Online: <https://bit.ly/2KILD00>.
- Constituyente, Asamblea Nacional, ed. (2008). *Constitución Política de la República del Ecuador*. Tribunal Constitucional de Ecuador. Online: <https://bit.ly/2yOeU3L>.
- Coopmans, P. y N. Krabbe (2000). «A new species of flycatcher (Tyrannidae: Myiopagis) from eastern Ecuador and eastern Peru». En: *The Wilson Bulletin* 112.3, 305-313. Online: <https://bit.ly/2YSQv84>.
- Cuesta, F. y col. (2005). «Evaluación ecorregional de los páramos y bosques montanos de la Cordillera Real Oriental: componente terrestre. EcoCiencia». En: *The Nature Conservancy. Quito, Ecuador*, Online: <https://bit.ly/2TvNiP>.
- Davis, S.D. y col. (1997). *Centres of Plant Diversity: A Guide and Strategy for Their Conservation*. Ed. por S.D. Davis y col. Vol. 3: The Americas. Cambridge. Online: <https://bit.ly/2YUdVu2>. IUCN Publications Unit.
- Dinerstein, E. y col. (1995). *A conservation assessment of the terrestrial ecoregions of Latin America and the Caribbean*. The World Bank. Online: <https://bit.ly/2TvBYwU>.
- Dudley, N. y S. Stolton (2010). *Arguments for protected areas: multiple benefits for conservation and use*. Routledge. Online: <https://bit.ly/2GSW0xK>.
- Duellman, W. (1979). «The herpetofauna of the Andes: patterns of distribution, origin, differentiation, and present communities». En: *The South American herpetofauna: its origin, evolution, and dispersal* 7, 371-459. Online: <https://bit.ly/2M4Mn3f>.
- Flanagan, J., ed. (1998). *Aves de Cajanuma: Parque Nacional Podocarpus. Vocalizaciones de algunas especies del bosque nublado montañoso tropical*. Loja-Ecuador. Online: <https://bit.ly/2M7Rboy>: Fundación Ecológica Arcoíris.
- Freile, J. F. y R. Restall (2018). *Birds of Ecuador*. Helm, Bloomsbury Publishing Plc. Online: <https://bit.ly/2OOoBum>.
- Greene, R. y J. Pick (2012). *Exploring the urban community: A GIS approach*. Prentice Hall. Online: <https://bit.ly/2yM1XrI>.
- Jiménez-Prado, P. (2010). «Fauna de Vertebrados del Ecuador». En: ed. por C. Boada y col. Loja-Ecuador: Universidad Técnica Particular de Loja. Cap. Peces de Ecuador, págs. 17-94.
- Kiss, K. y A. Bräuning (2008). *El bosque húmedo de montaña: investigaciones sobre la diversidad de un ecosistema de montaña en el Sur del Ecuador*. Deutsche Forschungsgemeinschaft. Online: <https://bit.ly/2SGn1Z0>.
- Krabbe, N. y col. (1999). «A new species of antpitita (Formicariidae: Grallaria) from the southern Ecuadorian Andes». En: *The Auk* 116.4, 882-890. Online: <https://bit.ly/2GUqM9n>.
- Larsen, F. y col. (2012). «Birds as biodiversity surrogates: will supplementing birds with other taxa improve effectiveness?» En: *Journal of Applied Ecology* 49.2, 349-356. Online: <https://bit.ly/2YRHQ63>.
- Maldonado, N. y P. Numa (2002). «Clima y vegetación de la región sur del Ecuador». En: Aguirre J, Madsen JE, Cotton E, Balslev, editores. *Botánica Austroecuatoriana*. Quito: Ediciones Abya Ayala, págs. 1-28.
- Manterola, C., P. Astudillo y E. Arias (2013). «Revisión sistemática de la literatura. Qué se debe saber acerca de ellas». En: *Cirugía Española* 91.3, 149-155. Online: <https://bit.ly/2TqxA3L>.
- Medina-López, C., J. Marín-García y R. Alfalla-Luque (2010). «Una propuesta metodológica para la realización de búsquedas sistemáticas de bibliografía (A methodological proposal for the systematic literature review)». En: *WPOM-Working Papers on Operations Management* 1.2, 13-30. Online: <https://bit.ly/2M86Dkr>.
- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de Ecuador (1983). «Declaratoria del Parque Nacional Podocarpus. Acuerdo Ministerial N° 0398,

- Registro Oficial. N^o 404, 5 de enero de 1983». En: *Registro Oficial de Ecuador*. Quito.
- Mittermeier, R. (1997). *Megadiversity: Earth's biologically wealthiest nations*. Agrupación Sierra Madre. Online: <https://bit.ly/2yMlZm4>.
- Myers, N. y col. (2000). «Biodiversity hotspots for conservation priorities». En: *Nature* 403.6772, 853. Online: <https://go.nature.com/2Gnztdw>.
- Neill, D. (2012). «¿ Cuántas especies nativas de plantas vasculares hay en Ecuador?». En: *Revista Amazónica Ciencia y Tecnología* 1.1, 70-83. Online: <https://bit.ly/2Rwi0VH>.
- Ordóñez-Delgado, L. (2011). *Caracterización biofísica de los sistemas lacustres del Parque Nacional Podocarpus y Parque Nacional Yasuni, Andes Tropicales del Sur del Ecuador*. Inf. téc. Loja-Ecuador. Online: <https://bit.ly/2MeoINV>: Ministerio del Ambiente de Ecuador (Zonal 7).
- Primack, R. y col. (1998). *Fundamentos de conservación biológica. Perspectivas latinoamericanas*. Ed. por R. Primack y col. México: Fondo de Cultura Económica.
- QGIS, Development Team (2018). *QGIS geographic information system*. Inf. téc. Open Source Geospatial Foundation Project.
- Remache, G. y col. (2004). *Integridad Ecológica del Microcorredor de Conservación Yacuambi-Podocarpus-Sabanilla*. EcoCiencia. Grupo de Trabajo de Páramos de Loja-GTPL. Fundación Arcoiris.
- Robbins, M., G. Rosenberg y F. Molina (1994). «A new species of cotinga (Cotingidae: Doliornis) from the Ecuadorian Andes, with comments on plumage sequences in Doliornis and Ampelis». En: *The Auk* 111.1, 1-7. Online: <https://bit.ly/2R9P8mF>.
- Ron, S. y col. (2019). «Anfibios del Ecuador». En: *Museo de Zoología, Pontificia Universidad Católica Del Ecuador*, Online: <https://bit.ly/2s6zWHu>.
- Rueda, M. (2003). «Presentación de la colección. La investigación educativa en México, 1992-2002». En: (2003). *Consejo Mexicano de Investigación Educativa A. C. 1992-2002*. Online: <https://bit.ly/2DX8GUn>.
- Serrano, F. (2008). «Reserva de biósfera Podocarpus-El Condor: Reflexiones del primer año de gestión». En: *XXXII Jornadas Nacionales de Biología* [Universidad Técnica Particular de Loja]. Online: <https://bit.ly/2yNwm8W>.
- Stotz, D. y col. (1996). *Neotropical birds: ecology and conservation*. University of Chicago Press. Online: <https://bit.ly/2YBHxRF>.
- Terborgh, J. y B. Winter (1983). «A method for siting parks and reserves with special reference to Colombia and Ecuador». En: *Biological Conservation* 27.1, 45-58. Online: <https://bit.ly/2GSXZlm>.
- Tirira, D. (2018). *Mamíferos del Ecuador: Lista actualizada de especies/Mammals of Ecuador: Updated checklist species. Versión 2017.2*. Inf. téc. Online: <https://bit.ly/2VtvcJU>: Fundación Mamíferos y Conservación.
- Torres-Carvajal, O., G. Pazmiño-Otamendi y D. Salazar-Valenzuela (2018). *Reptiles del Ecuador. Versión 2018.0*. Español. Museo de Zoología, Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- UICN (2014). *Lista Roja de Especies Amenazadas de la UICN. Resumen para América del Sur*. UICN oficina Regional para América del Sur.
- Urrútia, G. y X. Bonfill (2010). «Declaración PRISMA: una propuesta para mejorar la publicación de revisiones sistemáticas y metaanálisis». En: *Medicina clínica* 135.11, 507-511. Online: <https://bit.ly/2GP1c75>.
- Watson, J., D. Dudley N. Segan y M. Hockings (2014). «The performance and potential of protected areas». En: *Nature* 515.7525, 67. Online: <https://go.nature.com/2t9QDpu>.



ASPECTOS BIOLÓGICOS Y ECOLÓGICOS DEL OSO DE ANTEOJOS (*Tremarctos ornatus*, Ursidae) EN LA ZONA ANDINA DE ECUADOR Y PERSPECTIVAS PARA SU CONSERVACIÓN BAJO EL ENFOQUE DE ESPECIES PAISAJE

BIOLOGICAL AND ECOLOGICAL ASPECTS OF THE SPECTACLED BEAR (*Tremarctos ornatus*, Ursidae) IN THE ECUADOREAN ANDEAN ZONE AND CONSERVATION PERSPECTIVES UNDER THE LANDSCAPE SPECIES APPROACH

Pablo Sandoval Guillén*¹  y Patricio Yáñez Moretta² 

¹ Ingeniería en Biodiversidad y Recursos Genéticos, Universidad Tecnológica Indoamérica, Av. Machala y Sabanilla, Quito, Ecuador.

² Carrera de Gestión Ambiental y Turismo, Universidad Internacional del Ecuador, Av. Simón Bolívar y Jorge Fernández, Quito, Ecuador.

*Autor para correspondencia: apyanez@hotmail.com

Manuscrito recibido el 28 de febrero de 2019. Aceptado, tras revisión, el 13 de agosto de 2019. Publicado el 1 de septiembre de 2019.

Resumen

El oso andino u oso de anteojos (*Tremarctos ornatus*) ha habitado Sudamérica por más de cinco millones de años, y es el único representante viviente de los osos de nariz corta, un grupo que habitó solamente en el continente americano. Dentro de Ecuador es considerado en peligro de extinción, principalmente debido a la fragmentación y pérdida de hábitats naturales en la región andina, causada por actividades antrópicas productivas (ganadería y agricultura) y de extracción de recursos naturales. Este oso es un mamífero que necesita de grandes extensiones para poder alimentarse y buscar pareja. El oso andino es importante para las zonas que habita, principalmente el bosque andino y el páramo, debido a su eficiente rol como dispersor de semillas. En el presente trabajo se analizan aspectos de esta especie en Ecuador, utilizando el enfoque teórico de 'especies paisaje' para proponer actividades en pro de la conservación de este mamífero y de los hábitats en los que se desarrolla. Este enfoque permite evaluar de forma sistemática la calidad del paisaje en términos de los requerimientos biológicos de una especie de interés (en este caso, *Tremarctos ornatus*) y de los usos humanos del paisaje; de igual forma considera características del área de conservación como su variación. **Palabras clave:** Conservación biológica, *Tremarctos ornatus*, Andes ecuatorianos, especies.

Abstract

CONSERVACIÓN

The Andean bear (*Tremarctos ornatus*) has inhabited South America for more than five million years, and he is the only living representative of the short-nosed bears, a group that only lived on the American continent. In Ecuador he is considered an endangered species, mainly because the loss of natural habitats in the Andes, due to the pressure of productive anthropic activities (mainly, livestock and agriculture) and extraction of natural resources. This bear is a mammal that needs large areas to eat and find a mate. The Andean bear is important for cloud forests and paramos due to his efficient role as seed scatter. In this work, the 'landscape species' theoretical approach is applied in order to propose activities to conserve the Andean bear and the places that inhabits. This approach also allows to evaluate in a systematic way the quality of the landscape in terms of biological requirements of the species (here, *Tremarctos ornatus*) and the landscape human uses; likewise, it also considers the size and limits of the conservation area and its internal variation.

Keywords: Biological conservation, *Tremarctos ornatus*, Ecuadorian Andes, Landscape Species.

Forma sugerida de citar: Sandoval-Guillén, P. y Yanéz-Moreta, P. (2019). Aspectos biológicos y ecológicos del oso de anteojos (*Tremarctos ornatus*, *Ursidae*) en la zona andina de Ecuador y perspectivas para su conservación bajo el enfoque de especies paisaje. La Granja: Revista de Ciencias de la Vida. Vol. 30(2):19-27. <http://doi.org/10.17163/lgr.n30.2019.02>.

IDs Orcid:

Pablo Sandoval Guillén: <https://orcid.org/0000-0001-8157-2876>

Patricio Yáñez Moreta: <https://orcid.org/0000-0003-4436-7632>

1 Introducción

Varias regiones en Latinoamérica han sido propuestas como 'hotspots' (áreas con especial concentración de diversidad biológica), 'threatspots' (áreas con tal diversidad, pero con amenazas claras hacia ella) o como 'países con números altos de especies amenazadas' (Cole, Reeder y Wilson, 1994; Ceballos y Brown, 1995; IUCN, 1996). Dentro de este contexto, cabe mencionar que los mamíferos y las aves, como grupos mejor conocidos y más estudiados, suelen ser considerados como los organismos animales generalmente emblemáticos, en torno a los cuales suelen girar actividades de planificación y ejecución de la conservación de hábitats y ecosistemas naturales.

La riqueza de especies, valores de biodiversidad y rangos de endemismo de mamíferos para cada país han sido utilizados de manera conjunta como medidas de caracterización de la pérdida de hábitat y crecimiento poblacional humano, así como para identificar las amenazas antrópicas globales sobre la diversidad biológica (Sisk y col., 1994). A pesar de ello, todavía existen algunos vacíos en el conocimiento de este grupo de vertebrados en regiones neotropicales. Entre los mamíferos emblemáticos de zonas andinas, el oso andino (*Tremarctos ornatus*) se encuentra catalogado como especie vulnerable (VU) dentro de la Lista Roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN, 2018) y en peligro de extinción en Ecuador (Cuesta, Peralvo y Sánchez, 2001).

Uno de los problemas más desafiantes en la conservación de biodiversidad en la zona andina de Ecuador es proteger especies grandes, como el oso de anteojos (Castellanos, 2010) o el tapir de montaña (Álvarez y Yáñez, 2017), y al mismo tiempo satisfacer las necesidades de las personas que comparten espacios con ellas. Los grandes carnívoros, por ejemplo, son particularmente difíciles de conservar porque compiten directa o indirectamente con los humanos por el espacio y los recursos (Treves y col., 2006); los carnívoros tienen efectos directos sobre la abun-

dancia de herbívoros, carroñeros y efectos indirectos sobre la vegetación y las redes alimenticias a través de cascadas tróficas (McFarland, 2009), lo que hace que su conservación sea importante y compleja.

La conservación del oso de anteojos en los países andinos, en donde las áreas protegidas y los hábitats de vida silvestre se encuentran incrustados en una matriz de usos heterogéneos, generalmente con cambios rápidos en el uso y/o tenencia de la tierra, es particularmente difícil (Peyton y col., 1998; Ferraro, 2002; Himley, 2009).

1.1 La región andina de Ecuador y países vecinos como hábitat natural del oso de anteojos

Clásicamente suele considerarse al hábitat como todos los recursos y características de un lugar, que permiten la presencia de un organismo (Begon, Harper y Townsend, 1999); por lo tanto, un animal puede usar un hábitat de diferentes formas, de acuerdo al acceso y la disponibilidad de éste, así como de sus requerimientos particulares (Cuesta, Peralvo y Sánchez, 2001). La disponibilidad y acceso a tal hábitat pueden variar a lo largo del tiempo en función de factores ambientales como el clima y factores biológicos de la especie de interés, así como de las comunidades que estructuran el sistema local (Begon, Harper y Townsend, 1999).

A nivel de Sudamérica, el oso de anteojos habita en ambientes de bosques nublados y páramos de seis países: Colombia, Venezuela, Ecuador, Perú, Bolivia y noroccidente de Argentina (Castellanos, 2010). La presencia de esta especie en su zona más austral, el noroccidente de Argentina, se fundamenta en el encuentro de fragmentos de ADN, extraídos de pelo y heces (Teta y col., 2018). En Ecuador se reporta su presencia principalmente en bosques nublados y páramos andinos, generalmente dentro de áreas protegidas, pero eventualmente también fuera de ellas (Cuesta, 2000; Goldstein y Cancino, 2001; PUCE-q, 2018) (Figura 1).

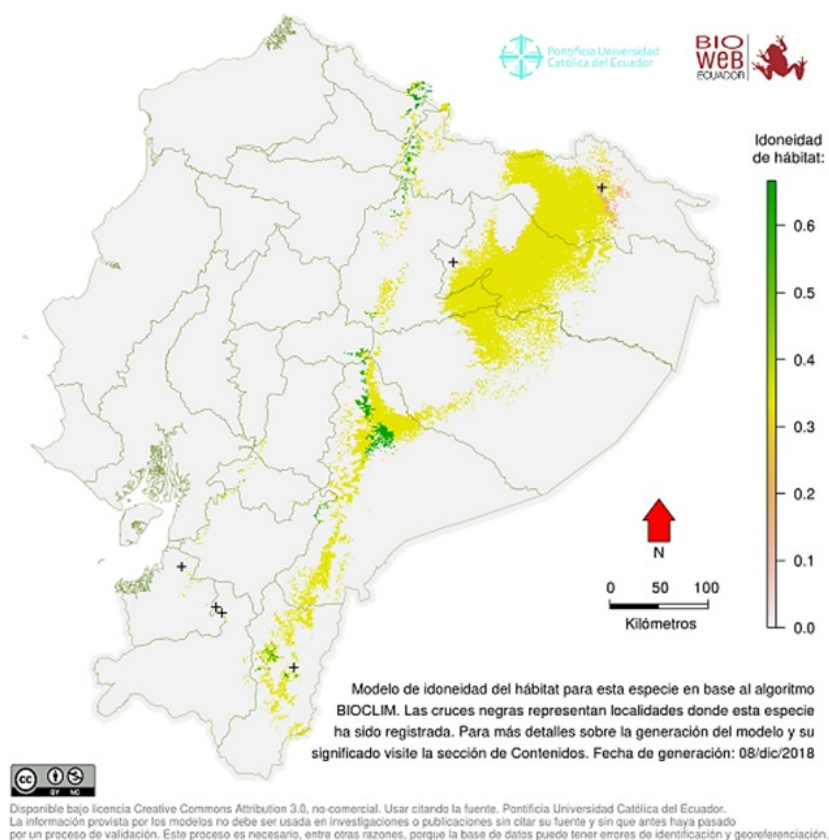


Figura 1. Mapa de distribución potencial del oso de anteojos.

Fuente: PUCE-q, (2018).

Algunos registros de su presencia incluyen bosque nublado y páramo a regiones contiguas de bosque subtropical. Su presencia en estos tres ecosistemas se relaciona con registros efectuados en las provincias de Pastaza, Morona Santiago, Zamora Chinchipe, Sucumbios, Napo, Chimborazo, Cañar, Azuay, Loja, Carchi, Imbabura, Pichincha, Cotopaxi, Bolívar, Tungurahua y El Oro (Tirira, 2007). Atendiendo a una nomenclatura más estandarizada de las regiones naturales, se puede mencionar que se encuentra en: Bosque Pie montano Occidental, Bosque Montano Occidental, Páramo, Bosque Montano Oriental, Bosque Pie montano Oriental (Castellanos y Boada, 2018).

1.2 Descripción de la especie

El oso de anteojos, también conocido como oso andino, oso achupallero, oso frontino u oso anteojudo, es una especie única de los Andes. Es grande y de cuerpo robusto, los machos miden entre 1,8-2,0 m de altura, pesan hasta 175 kg, las hembras son algo más pequeñas (Tirira, 2007). Los machos y hembras adultos tienen un cuello musculoso, corto, orejas cortas y hocico marrón oscuro, su pelaje

negro es grueso y abundante. Presentan además una combinación de manchas blancas o café claras alrededor de los ojos, que pueden extenderse hasta la quijada, garganta y pecho (Figuras 2 y 3); el tamaño, coloración y forma de estas manchas suelen ser diferentes en cada individuo y son características que suelen ser usadas para su identificación a este nivel (Castellanos, 2010; Tirira, 2007).



Figura 2. Apariencia de un oso de anteojos adulto.

Fuente: Tirira, (2007).



Figura 3. Oso de anteojos (*Tremarctos ornatus*). Fuente: Appleton, (2017).

Es un mamífero de hábitos diurnos y nocturnos, terrestre, parcialmente arborícola y solitario; también es un animal omnívoro (come frutos, materia vegetal y carne, llegando incluso a alimentarse de carroña de ser necesario). Generalmente, su dieta incluye frutos maduros, cogollos de bromelias, partes tiernas de palmas, bulbos de orquídeas o incluso cortezas de árboles (Castellanos, 2005). Sin embargo, sus hábitos alimenticios pueden cambiar acorde al lugar en el que se encuentre y de la disponibilidad de los recursos (Peralvo, Cuesta y Manen, 2005), y si el alimento es escaso, puede incluso llegar a cazar venados, roedores y en ocasiones terneros (Goldstein, 2002; Castellanos, 2005). Suele construir nidos tanto en el suelo como en los árboles altos con el propósito de descansar y para alimentarse sin interrupciones (Goldstein, 2002).

1.3 Objetivo y aspectos metodológicos

El presente documento busca compartir con la sociedad académica nacional y regional información de interés para el conocimiento y la conservación de una especie emblemática del oso de anteojos. Se fundamentó en una revisión crítica de literatura específica (considerando publicaciones técnicas y/o científicas producidas principalmente en las últimas dos décadas en torno a esta especie de mamífero y sus hábitats), así como la generación de opiniones de los autores sobre el rol ecológico y de conservación, presente y futuro de esta especie en sus hábitats naturales en Ecuador.

2 Biología reproductiva

Gran parte del comportamiento de apareamiento de esta especie permanece sin estudiar. Los machos y las hembras se juntan para aparearse entre los meses de abril y junio. La pareja permanece junta durante 1 a 2 semanas, copulando varias veces durante este período (International As-

sociation for Bear Research and Management, 1999).

Estudios de genética molecular realizados por Ruiz-García, (2003) en poblaciones de osos de cinco países andinos muestran una alarmante realidad: la variabilidad genética del oso andino es relativamente baja. Las poblaciones del Ecuador poseen la menor variabilidad, posiblemente debido a que la fragmentación de sus hábitats es mayor en Ecuador, lo cual genera poblaciones de osos más aisladas y con mayor riesgo de desaparecer (Kattan y col., 2004).

3 Importancia ecológica en el turismo cultural y de naturaleza

El oso de anteojos es el único representante viviente en Sudamérica de toda la familia Ursidae, lo cual le da un derecho particular de existir y a la comunidad académica una gran obligación ética para facilitar su conservación in situ. El ser humano, como el principal agente transformador del ambiente, tiene la obligación y responsabilidad de conservar no solo al oso andino sino también a las especies silvestres con las que comparte hábitats.

Sin embargo, y a pesar de esta necesidad ética, poco se conoce aún sobre la ecología de este oso en Ecuador y su rol en los ecosistemas que habita. Estudios en Bolivia han demostrado que es un activo agente dispersor de semillas y que el paso de éstas por su tracto digestivo no afecta su viabilidad (Rivadeneira, 2008).

Por tanto, este mamífero resulta muy importante para las zonas que habita, principalmente para algunas especies vegetales de bosque andino y páramo, debido a su rol efectivo de dispersor al depositar semillas con mayor velocidad de germinación en zonas aptas. Por otra parte, en la mayor parte de las veces el oso de anteojos tumba troncos completos para alcanzar sus frutos y alimentarse (Troya, 2002); de esta manera, dentro del bosque se abren espacios por donde entra más luz solar y el agua de lluvia llega directamente al suelo. Así, el oso ayuda en parte a la renovación de la vegetación del bosque, ya que muchas plantas necesitan tener un espacio abierto por encima de ellas (claros) para crecer mejor. Sus excrementos también contribuyen en alguna medida a abonar el suelo del bosque. Además, sirven de alimento a muchos pequeños organismos como escarabajos estercoleros, pequeños cucarrones, larvas de insectos, mariposas (Castellanos, 2003).

Es un gran escalador y cuando sube a los árboles para alimentarse o dormir construye plataformas doblando y partiendo algunas ramas. Muchas de estas ramas o palos que estaban acumulados en el dosel del bosque caen al suelo para descomponerse y convertirse en abono orgánico. De esta manera, el oso ayuda a evitar que se acumule

demasiada materia orgánica en la parte alta de los árboles y genera huecos en el dosel o subdosel por donde llega la luz del sol directamente al suelo del bosque (Suárez, 1985).

El oso andino también ha sido un animal emblemático, involucrado en el desarrollo de muchas de nuestras culturas indígenas y campesinas en los países andinos. Para muchos es sagrado, para otros el hermano mayor del ser humano. En las tradiciones orales de los pueblos se encuentra al oso en leyendas, cuentos, canciones y mitos (Lameda y Del Moral, 2008).

El oso andino aparece reflejado en los nombres comunes de algunas plantas, como 'la mano de oso' (*Oreopanax bogotensis*) y 'la hierba del oso' (*Xerophyllum tenax*). También es muy común encontrar sitios o lugares que reciben sus nombres honrando al oso andino: el Alto del Oso (Colombia), la Cueva del Oso (Ecuador), Quebrada El Oso (Colombia, Perú, Venezuela), Vereda del Oso (Colombia), entre otros. De esta manera, el oso andino hace parte del patrimonio cultural y de la cosmovisión de los países de la región andina.

4 Aspectos en torno al cuidado y conservación actuales del oso andino bajo el enfoque de especies paisaje

4.1 El modelo de conservación basado en especies paisaje

El conflicto oso de anteojos - ganado es un elemento digno de ser analizado y abordado bajo el esquema conceptual para planificación de conservación de especies paisaje (Sanderson y col., 2002), debido a las características particulares del conflicto, que incluyen componentes ecológicos, sociales y económicos. Una planificación efectiva en conservación o en manejo de conflictos debe definir de manera clara los elementos que son biológica, económica y socialmente relevantes para la especie o el conflicto en cuestión, de manera que se pueda planificar la resolución de los mismos a una escala adecuada (Poiani y col., 1998; Whited y col., 2000), preferiblemente con un enfoque ecosistémico y/o de ecología de paisajes.

El enfoque de especies paisaje concentra sus esfuerzos en un modelo explícito espacialmente que evalúa sistemáticamente el paisaje en términos de los requerimientos biológicos de una especie de interés (en este caso, *Tremarctos ornatus*) y de los usos humanos que se den a tal paisaje. Este enfoque utiliza los requerimientos de la especie para definir los límites del área de conservación (la extensión) y la variación dentro de ella (el grano) (Sanderson y col.,

2002). El modelo conceptual de conservación basado en especies paisaje considera primordialmente la identificación de:

1. El paisaje biológico de la especie.
2. El paisaje de las diferentes actividades humanas.
3. Espacios y tiempos en los que las actividades humanas podrían poner en peligro a las poblaciones de la especie paisaje.
4. Un paisaje focal potencial para la conservación de la especie, basado en los elementos locales necesarios y las intervenciones diferentes requeridas para la conservación de la población biológica escogida (Sanderson y col., 2002).

4.2 La escogencia de la especie

Teóricamente, cualquier especie podría ser considerada como candidata a especie paisaje, pero en la práctica, considerar muchas especies como candidatas haría excesivamente largo y oneroso el proceso de selección. En vista de ello, organizaciones como la WCS sugieren que el grupo inicial de especies candidatas a especie paisaje para una zona determinada consiste en pocas especies con una probabilidad razonable de ser seleccionadas y que cumplan con uno o más de los cinco criterios siguientes (WCS: Wildlife Conservation Society, 2002):

- Área: la especie candidata a especie paisaje deberá distribuirse ampliamente en hábitats naturales, de tal manera que si se protege su zona de vida se protege a la vez a muchas otras especies de flora y fauna al mismo tiempo, lo que se conoce como Efecto Sombrilla (Umbrella species) (WCS: Wildlife Conservation Society, 2002). En este sentido el oso de anteojos, por lo que se ha mencionado anteriormente y por su distribución en hábitats naturales andinos de Colombia, Venezuela, Ecuador, Perú y norte de Argentina, es un fuerte candidato para especie paisaje.
- Heterogeneidad: algunas especies requieren más que simplemente áreas grandes. En muchos casos, una especie silvestre candidata a especie paisaje necesita una variedad de hábitats naturales disponibles y tipos de vegetación diferentes para su dispersión, forraje, reproducción y supervivencia en épocas favorables y desfavorables (WCS: Wildlife Conservation Society, 2002). Nuevamente, el oso andino reúne estas condiciones.
- Vulnerabilidad: otra consideración en la selección de una especie paisaje es el número y severidad de las amenazas que la afectan. Las amenazas pueden ser clasificadas de acuerdo a la probabilidad de su ocurrencia, la rapidez con la que ocurren o pueden ocurrir, su severidad y el área que pueden afectar,

en relación a la especie candidata (WCS: Wildlife Conservation Society, 2002). El oso de anteojos en la actualidad está catalogado como especie vulnerable por la IUCN, (2018), por lo que su protección y de los hábitats que ocupa es necesaria y urgente.

- **Funcionalidad ecológica:** algunas especies tienen efectos particularmente fuertes en la estructura y función de los ecosistemas naturales: por ejemplo, los castores originan zonas pantanosas al construir diques en los ríos (WCS, 2002); los tapires y osos de anteojos distribuyen semillas en los sistemas que visitan y los depredadores mayores pueden controlar la abundancia y composición de las comunidades de presas. Dados estos efectos importantes sobre otras especies, el mantenimiento de poblaciones saludables de las especies paisaje y de sus hábitats, como el caso del oso andino, ayudará a conservar de manera saludable a los ecosistemas en los que se desarrolla.
- **Importancia socioeconómica:** el último criterio para la selección de una especie paisaje es su importancia socioeconómica. Algunos ejemplos demuestran que el ambiente social dentro y en los alrededores de las áreas protegidas puede afectar drásticamente los resultados de la conservación. Dado que las especies paisaje recorren grandes extensiones y encuentran en este accionar una amplia variedad de hábitats y de tipos de uso de tierras, es muy probable que tengan contacto con gente y sus actividades (WCS: Wildlife Conservation Society, 2002). Esto precisamente es lo que sucede con el oso de anteojos, en un sentido negativo para el ser humano puede afectar cosechas, molestar al ganado, competir por el espacio o por los recursos; en un sentido positivo este oso tiene importantes beneficios como el ser un potente ícono cultural en la ruralidad andina y proveer oportunidades para la generación de ingresos a las comunidades humanas locales a través del desarrollo de actividades de ecoturismo, como se ha descrito para otra especie importante como el tapir andino en estudios similares (Álvarez y col., 2017).

4.3 Programas y planes en pro de la conservación del oso de anteojos como especie emblemática en Ecuador

La Fundación Natura y la Fundación EcoCiencia en Ecuador han trabajado en las últimas décadas (1980-2010, principalmente) con el gobierno nacional apoyando a la gestión del manejo de tres áreas protegidas en los que se encuentra el oso de anteojos (Podocarpus, Cotacachi-Cayapas, Cayambe-Coca). Por otro lado, el programa de conservación del oso Andino en el Noroccidente del Distrito Metropolitano de Quito utiliza al oso como especie

paraguas para la conservación de la salud ambiental de esta región (Secretaría de Ambiente, 2014). Las acciones que se implementan para apoyar la conservación del oso apoyan también directa o indirectamente a la conservación y recuperación de los remanentes de vegetación naturales. Estos esfuerzos de conservación sin duda alguna deben ser ampliados y apoyados por las instituciones de gestión e investigación que fueren pertinentes.

5 Conclusiones y recomendaciones

Las poblaciones de oso andino desde la época prehispánica han sido objeto de mucha presión por parte del ser humano. En Ecuador se los cazaba por temor, por deporte, por obtener productos de su cuerpo o porque eventualmente eran considerados plaga para cultivos y/o animales de granjas.

Actualmente, las amenazas principales que enfrenta son la caza furtiva y la destrucción de su hábitat natural, lo que hace que las pocas poblaciones que aún quedan en Ecuador se encuentren generalmente aisladas entre sí. A estos dos factores se le suma el hecho de que el hábitat principal del oso andino se encuentra en una de las zonas de mayor crecimiento y desarrollo económico y social en Ecuador: las provincias andinas.

Consideramos que algunas medidas para colaborar con el mantenimiento de esta especie en sus hábitats naturales, además de que se la considere oficialmente como Especie Paisaje para Ecuador y posiblemente también para los otros países andinos donde se encuentre, comprenden:

Evitar la cacería del oso con las medidas y acciones pertinentes; actualmente, la ley prohíbe su cacería y comercialización; sin embargo, ameritaría algo más de control para que llegue a cumplirse plenamente la norma. Cabe recalcar que estos animales son tímidos y asustadizos; tratan de evitar la presencia del ser humano y no constituyen amenaza alguna para nosotros. Si en una zona hay problemas con un oso andino se debe informar a la entidad ambiental local competente; ésta indicará que hacer. La cacería no es la solución y con esta práctica solo se contribuye a aumentar el riesgo de extinción de esta especie.

No talar el bosque andino (el nublado ni el de pie de monte) ni el subtropical, así como no modificar los páramos. Además de ser el hogar del oso andino, estos ambientes sirven para la protección de cuencas y aseguran el abastecimiento de agua en la región para el beneficio de la gente. Por otra parte, el bosque y el páramo son el hogar de muchas otras especies de animales y plantas beneficiosas para el ecosistema y para el ser humano, algunas de ellas además no se encuentran en ninguna otra región del planeta. De esta manera, si se protege el hogar

del oso andino también se preserva el hogar de varias plantas y animales que comparten su hábitat. Resultan indispensables las campañas de recuperación y protección de los bosques andinos y páramos. El deterioro de estos sistemas implica la pérdida de fuentes de agua, indispensables para cultivos o consumo humano. Se debe procurar reforestar las áreas donde antes existía bosque andino con especies nativas, pues los que aún quedan se encuentran de manera discontinua y fragmentada. Se pueden desarrollar planes de restauración de bosques que conecten esos fragmentos y así se ayudaría a que el oso andino tenga un área más amplia por la cual desplazarse.

Los gobiernos (nacional, provinciales, municipales) deben tomar acciones eficaces de control al tráfico ilegal de especímenes de oso de anteojos o partes de su cuerpo. También se debe pensar en aplicar estímulos para aquellos que promuevan de alguna manera la protección de esta especie y/o de los hábitats en los que se encuentra o de los que depende directamente. Las organizaciones no gubernamentales interesadas en la conservación de esta especie deben tener la capacidad, facilitada por el Gobierno Nacional, de canalizar recursos nacionales e internacionales para la adquisición y/o administración de tierras que aseguren la conservación de los hábitats naturales del oso andino. Las universidades y centros de investigación, tanto privados como públicos, que efectúen actividades y programas en ciencias biológicas y ambientales deben estar en capacidad de ofrecer asesoría técnica y científica a las comunidades rurales y entidades gubernamentales y no gubernamentales respecto a los criterios que se deben tener en cuenta para la conservación y recuperación de las poblaciones de oso andino y los hábitats que ocupa.

Agradecimientos

A la Dra. Mónica Paéz (UTI), por los comentarios y sugerencias de mejora a las versiones iniciales del manuscrito.

Referencias


- Álvarez, P. y P. Yáñez (2017). «Actividades de conservación y de educación ambiental en torno a una especie emblemática, el tapir de montaña (*Tapirus pinchaque*), en sectores andinos del sur de Ecuador.» En: *INNOVA Research Journal* 2.8, 1-9. Online: <https://bit.ly/2N0tr5h>.
- Álvarez, P. y col. (2017). «El Tapir de montaña (*Tapirus pinchaque*), como especie bandera en los Andes del sur del Ecuador.» En: *INNOVA Research Journal* 2.8, 86-103. Online: <https://bit.ly/2ZnuZN7>.
- Appleton, R. (2017). *Spectacled Bear. Tremarctos ornatus*.
- Begon, M., J. Harper y C. Townsend, eds. (1999). *Ecología*. Online: <https://bit.ly/2ZdR4yx>: Omega.
- Castellanos, A. (2003). «Datos ecológicos del oso andino *Tremarctos ornatus* en la reserva Alto Chocó, Ecuador». En: *Memorias de las XXVII Jornadas Ecuatorianas de Biología*. Ed. por Universidad Central del Ecuador. Quito-Ecuador.
- (2010). *Guía para la rehabilitación, liberación y seguimiento de osos andinos*. Imprenta Anyma. Quito.
- Castellanos, A. y C. Boada (2018). «Mamíferos del Ecuador. Version 2018.0.» En: ed. por J. Brito y col. Quito: Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Museo de Zoología. Cap. *Tremarctos ornatus*.
- Castellanos A., Altamirano M. & Tapia G. (2005). «Ecología y comportamiento de osos andinos reintroducidos en la Reserva Biológica Maquipucuna, Ecuador: implicaciones en conservación.» En: *Revista Politécnica*, 54-82. Online: <https://bit.ly/32Ft8SN>, Volume = 26.
- Ceballos, G. y J. Brown (1995). «Global patterns of mammalian diversity, endemism, and endangerment». En: *Conservation Biology* 9.3, 559-568. Online: <https://bit.ly/2U5eWOR>.
- Cole, F., D. Reeder y D. Wilson (1994). «A synopsis of distribution patterns and the conservation of mammal species». En: *Journal of Mammalogy* 75, 266-277. Online: <https://bit.ly/2YWDD5d>.
- Cuesta, F., ed. (2000). *La distribución del oso andino en el Ecuador*. Quito: Fundación EcoCiencia.
- Cuesta, F., M. Peralvo y D. Sánchez (2001). *Métodos para investigar la disponibilidad del hábitat del oso andino: el caso de la cuenca del río Oyacachi, Ecuador*. Serie Bioreserva del Cóndor 1. Quito: Fundación EcoCiencia. Online: <https://bit.ly/2ZYM79f>.
- Ferraro, P. (2002). «Global habitat protection: limitations of development interventions and a role for conservation performance payments». En: *Conservation Biology* 15.4, 990-1000. Online: <https://bit.ly/2ZiPdbO>.
- Goldstein, I. (2002). «Spectacled bear-cattle interactions and tree nest use in Bolivia and Venezuela». En: *Ursus* 13, 153-156. Online: <https://bit.ly/2zjyJkn>.
- Goldstein, I. y L. Cancino (2001). *Distribución y Status del Oso Andino: una iniciativa regional de conservación a largo plazo*. Mérida: Andean Bear Program-WCS Northern Andes. D. Online: <http://wcsfrontino.ula.ve>.
- Himley, M. (2009). «Nature conservation, rural livelihoods, and territorial control in Andean Ecuador.» En: *Geoforum* 40.5, 832-842. Online: <https://bit.ly/2HpVYO2>.
- IUCN (1996). *Guidelines for re-introductions*. Gland: IUCN/SSC RSG. Inf. téc. International Union for the Conservation of Nature, Reintroduction Specialist Group.
- IUCN (2018). *The IUCN Red List of Threatened Species*. Online: <https://www.iucnredlist.org/>. International

- Union for the Conservation of Nature, Reintroduction Specialist Group.
- International Association for Bear Research and Management (1999). *Bear Species Descriptions*. Online: <https://www.bearbiology.org/>. Fairbanks.
- Kattan, G. y col. (2004). «Range fragmentation of the spectacled bear *Tremarctos ornatus* in the northern Andes». En: *Oryx* 38.2, 1-10. Online: <https://bit.ly/2KTjxB0>.
- Lameda, I. y F. Del Moral (2008). «The Andean Bear in the world: view of the South American Andes. I». En: *International Bear News* 17.4, 14-15. Online: <https://bit.ly/2ZqVGk3>.
- McFarland, D. (2009). «Population Estimation, Habitat Associations and Range Expansion of Black Bears in the Upper Midwest». Tesis de maestría. Madison: University of Wisconsin. Online: <https://bit.ly/2H5t19U>.
- PUCE-q, ed. (2018). *Mapa de distribución potencial del oso de anteojos*. Quito: Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Bioweb.
- Peralvo, M., F. Cuesta y F. van Manen (2005). «Delineating priority habitat areas for the conservation of andean bears in northern Ecuador». En: *Ursus* 16.2, 222-233. Online: <https://bit.ly/2zk3gOG>.
- Peyton, B. y col. (1998). «Status of wild Andean Bears and Policies for their Management». En: *Ursus* 10, 87-100. Online: <https://bit.ly/2ZcLIn8>.
- Poiani, K. y col. (1998). «Biodiversity Conservation at Multiple Scales: functional Sites, landscapes, and networks». En: *BioScience* 50.2, 133-146. Online: <https://bit.ly/2NwrgXu>.
- Rivadeneira, C. (2008). «Study of the Andean bear (*Tremarctos ornatus*) as a legitimate seed disperser and elements of its diet in the region of Apolobamba-Bolivia». En: *Ecología en Bolivia* 43.1, 29-40. Online: <https://bit.ly/2Ymp5FN>.
- Ruiz-García, M. (2003). «Molecular population genetic analysis of the spectacled bear (*Tremarctos ornatus*) in the Northern Andean Area». En: *Hereditas* 138, 81-93. Online: <https://bit.ly/2N0mK2V>.
- Sanderson, E. y col. (2002). «A conceptual model for conservation planning based on landscape species requirements». En: *Landscape and Urban Planning* 58.1, 41-56. Online: <https://bit.ly/33UZMQW>.
- Secretaría de Ambiente (2014). *Programa de Conservación del Oso Andino en el Nor-occidente del Distrito Metropolitano de Quito*. Inf. téc. Quito: Municipio del Distrito Metropolitano de Quito. Online: <https://bit.ly/2X7G7tC>.
- Sisk, T. y col. (1994). «Identifying extinction threats: global analyses of the distribution of biodiversity and the expansion of the human enterprise». En: *Bioscience* 44.9, 592-604. Online: <https://bit.ly/33Vi2JW>.
- Suárez, L. (1985). «Hábitos y distribución estacional del oso de anteojos, *Tremarctos ornatus*, en el páramo suroriental del volcán Antisana, Ecuador». Tesis de Grado. Quito: Pontificia Universidad Católica, Departamento de Ciencias Biológicas.
- Teta, P. y col. (2018). «Lista revisada de los mamíferos de Argentina». En: *Mastozoología Neotropical* 25.1, 163-198. Online: <https://bit.ly/2PdZlxU>.
- Tirira (2007). *Nombres de los Mamíferos del Ecuador*. Publicación Especial de los Mamíferos del Ecuador 5. Quito: Ediciones Murciélagos Blanco y Museo Ecuatoriano de Ciencias Naturales.
- Treves, A. y col. (2006). «Co-managing human-wildlife conflicts: a review». En: *Human Dimensions of Wildlife* 11.6, 383-396. Online: <https://bit.ly/2zmEXzS>.
- Troya, V. (2002). *Food habits of the Andean bear in different vegetation types in the Oyacachi river basin*. Quito: Fundación EcoCiencia.
- WCS: Wildlife Conservation Society (2002). *La selección de especies paisaje*. Online: <https://bit.ly/2SymCH2>.
- Whited, D. y col. (2000). «The importance of local and regional factors in predicting effective conservation: Planning strategies for wetland bird communities in agricultural and urban landscapes». En: *Landscape and Urban Planning* 49.1, 49-65. Online: <https://bit.ly/33X5zWf>.



ADOPCIÓN E IMPACTO DE LAS TECNOLOGÍAS AGROPECUARIAS GENERADAS EN EL ECUADOR

ADOPTION AND IMPACT OF AGRICULTURAL TECHNOLOGIES DEVELOPED IN ECUADOR

Victor Hugo Sánchez* y José Luis Zambrano Mendoza

Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), Av. Eloy Alfaro N30-350 y Amazonas, Quito, Ecuador.

*Autor para correspondencia: jose.zambrano@iniap.gob.ec

Manuscrito recibido el 19 de octubre de 2018. Aceptado, tras revisión, el 9 de julio de 2019. Publicado el 1 de septiembre de 2019.

Resumen

El conocimiento de los efectos que tienen las tecnologías en la sociedad es el instrumento esencial para motivar el desarrollo de la investigación, ya que brinda insumos a los tomadores de decisiones y generadores de políticas que permiten proyectar el impacto de futuras inversiones. En Ecuador, el principal centro público encargado de la investigación y desarrollo de tecnologías en el sector agropecuario es el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), que desarrolla material genético, alternativas de manejo para incrementar y agregar valor a la producción, alternativas para el manejo del suelo y agua y la conservación de los recursos genéticos. Con el objetivo de estimar la adopción e impacto de las tecnologías agropecuarias que se generan en el país, se analizaron 37 estudios de adopción, impacto y rentabilidad económica de tecnologías generadas por el INIAP, publicados en el período 2007-2017. La tasa de adopción promedio a nivel nacional de las variedades desarrolladas por el INIAP fue del 37%, con una tasa interna de retorno promedio del 33%. Los impactos fueron positivos a nivel económico, ambiental y productivo para los agricultores que adoptaron las tecnologías. Estos resultados sirven de apoyo a los políticos y tomadores de decisiones en el país para el direccionamiento y planificación estratégica de la investigación, que permitan el desarrollo de una agricultura sostenible y de referencia para la región.

Palabras clave: Agricultura sustentable, economía agrícola, innovación, política agropecuaria.

Abstract

Knowing the effects that technologies have on society is the essential input to motivate the development of science, since it provides inputs to policy makers to project the impact of future investments. In Ecuador, the main public center in charge of research and development of technologies in the agricultural sector is the National Institute of Agricultural Research (INIAP), which develops genetic material (seeds) and crop management recommendations to

increase and add value to farmer's production, alternatives for the soil and water management and the conservation of genetic resources. In order to estimate the adoption and impact of agricultural technologies generated in the country, 37 studies of adoption, impact and economic profitability of technologies generated by the INIAP were analyzed. These studies were published in the period 2007-2017. The average adoption rate of the varieties developed by INIAP at the national level was 37 %, with an average internal rate of return of 33 %. The overall impacts of agricultural technologies developed in Ecuador were positive at an economic, environmental and productive level for the farmers who adopted these technologies. These results support the politicians and decision makers in the country for the direction and strategic planning of the research to invest more in science and technology, which will allow the development of a sustainable agriculture for Ecuador and the region.

Keywords: Sustainable agriculture, agricultural economy, innovation, agricultural policy.

Forma sugerida de citar: Sánchez, V.H. y Zambrano M., J.L. (2019). Adopción e impacto de las tecnologías agropecuarias generadas en el Ecuador. *La Granja: Revista de Ciencias de la Vida*. Vol. 30(2):28-39. <http://doi.org/10.17163/lgr.n30.2019.03>.

IDs Orcid:

Victor Hugo Sánchez: <http://orcid.org/0000-0001-6904-1183>

José Luis Zambrano Mendoza: <http://orcid.org/0000-0001-7206-1863>

1 Introducción

La evaluación de los efectos de las tecnologías generadas es crucial para las instituciones dedicadas a la Investigación y Desarrollo (I+D), ya que les permite demostrar la efectividad de los productos desarrollados y justificar las inversiones realizadas (Feinstein, 2012). Sobre todo, porque la generación tecnológica, en especial la que emplea una proporción de fondos públicos, tiene un alto costo de oportunidad en los países menos desarrollados. Es decir, el financiamiento de los gobiernos para ciencia y tecnología es limitado porque debe atender a otras prioridades de tipo social (López, 2017; Rivas y col., 1992). Esta última afirmación explicaría la baja inversión en I+D realizada en el Ecuador, que para el 2014 representó el 0,44% del Producto Interno Bruto; y para el sector agropecuario en particular menos del 0,03% del Producto Interno Bruto (SE-NESCYT e INEC. n.d, 2014).

En el sector agropecuario ecuatoriano, los esfuerzos realizados por las organizaciones de investigación se han enfocado principalmente en alcanzar la mayor productividad de los cultivos. Por ende, mucha de la oferta tecnológica se ha basado en la provisión de material genético (semilla) y recomendaciones de prácticas de cultivo. El Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) es el principal centro de investigación del Ecuador, representando el 73% de los investigadores agropecuarios dedicados a investigar a tiempo completo en el país, seguido por las entidades de educación superior (universidades) e instituciones privadas o centros de investigación sin fines de lucro, con el 14% y 13% de los investigadores a tiempo completo en el país, respectivamente (Stads y col., 2016).

El INIAP ha desarrollado material genético vegetal mejorado en características de rendimiento, resistencia a plagas y otros factores ambientales. También ha liberado tecnologías para el manejo de los cultivos, como: buenas prácticas para el uso de los insumos, recursos naturales, rotación de cultivos y manejo integrado de plagas. Durante el período 2007 a 2013, el INIAP liberó 38 variedades mejoradas y alrededor de 198 alternativas tecnológicas en rubros como: fréjol, maíz, papa, cacao, arroz, trigo, entre otros (Stads y col., 2016).

El efecto o impacto de varias de esas tecnologías

liberadas por el INIAP han sido evaluadas y publicadas de manera dispersa en el marco de varios proyectos de investigación de varias instituciones (Barrera y col., 2017; Clements y col., 2016; Barrow-clough y Dominguez, 2016). En consecuencia, es necesario consolidar y cuantificar el impacto de las tecnologías, de tal manera que sirva como herramienta a políticos y tomadores de decisiones para el análisis y el direccionamiento estratégico de la investigación para el desarrollo tecnológico agropecuario del país.

Esta revisión tiene el propósito de sintetizar y analizar los resultados obtenidos en esos estudios, para brindar un mayor conocimiento sobre los beneficios de las tecnologías desarrolladas en Ecuador con los recursos públicos, tomando como referencia los resultados alcanzados por el principal centro de investigación del país.

2 Materiales y Métodos

Para estimar el impacto de la inversión pública en investigación y desarrollo tecnológico de los resultados generados por el INIAP, se revisó la información disponible sobre estudios de adopción e impacto en Google Académico y en el repositorio bibliográfico de esa Institución (<http://repositorio.iniap.gob.ec>), que dispone de 4660 documentos a la fecha. La búsqueda se enfocó en publicaciones realizadas en: artículos científicos, publicaciones técnicas, tesis de postgrado y tesis de pregrado, publicadas desde el 2007 hasta el 2017.

Para facilitar el análisis, la información disponible se agrupó según tres criterios: i) estudios de rentabilidad de la investigación (indicador: Tasa Interna de Retorno - TIR); ii) estudios de adopción tecnológica, ya sea de material genético mejorado o prácticas de manejo agronómico (indicador: porcentaje de adopción de tecnología); y, iii) estudios de impacto (indicadores productivos, de conservación de recursos naturales e indicadores sociales). Una vez identificados los indicadores, se los sistematizó en tablas y se utilizaron estadísticas descriptivas (mínimo, máximo, promedio y mediana) para analizar y discutir la información.

3 Resultados

3.1 Rentabilidad de la I+D

La investigación bibliográfica realizada identificó 12 estudios que evaluaron la rentabilidad de las tecnologías generadas por el INIAP. Estos estudios utilizaron, en su mayoría, el método del excedente económico (Mendoza, Racines y Chávez, 2010; Racines, Mendoza y Yáñez, 2011) y en ciertos casos se combinaron con métodos descriptivos (Guayasamín, 2015; Reyes, 2012). Nueve de estos estudios se realizaron a nivel nacional en los temas de: arroz (Mendoza, Racines y Chávez, 2010), cacao (Sotomayor, 2011), cebada (Suquillo, 2014), limón (Salgado, 2013), maíz duro (Racines, Mendoza y Yáñez, 2011), palma africana (Córdova, 2013), papa (Mora, 2012),

soya (Álava, 2014) y yuca (Molina Loor, 2014); y los restantes en zonas geográficas específicas: fréjol evaluado en la sierra norte (Reyes, 2012); naranjilla realizado en las provincias de Napo, Pichincha y Tungurahua (Guayasamín, 2015); y piñón (*Jatropha*) realizado en la provincia de Manabí (Rade y col., 2017).

El promedio del TIR para los 12 estudios realizados fue del 33 %, mientras que la mediana fue 32 % (Tabla 1). El desarrollo de tecnologías para soya y arroz reportan las mejores tasas de retorno con 68 % y 52 %, respectivamente. El valor más bajo corresponde al estudio realizado en la Cebada con un TIR de 0 %, resultado aducido a que este cultivo se lo destina básicamente para el autoconsumo y, por tanto, no generara excedentes para la comercialización (Suquillo, 2014).

Tabla 1. Tasa Interna de Retorno (TIR) de la inversión realizada en 12 rubros de Investigación y Desarrollo del INIAP.

Tema de estudio	Período de estudio (años)	Tasa interna de retorno (%)	Referencia
Arroz	2000-2008	52	(Mendoza, Racines y Chávez, 2010)
Cacao	2000-2010	28	(Sotomayor, 2011)
Cebada	2000-2012	0	(Suquillo, 2014)
Fréjol	1991-2010	35	(Reyes, 2012)
Limón	2000-2012	13	(Salgado, 2013)
Maíz duro	2009-2010	42	(Racines, Mendoza y Yáñez, 2011)
Naranjilla	2004-2021*	43	(Guayasamín, 2015)
Palma Africana	2000-2011	46	(Córdova, 2013)
Papa	2000-2010	27	(Mora, 2012)
Piñón	2015	17	(Rade y col., 2017)
Soya	2000-2012	68	(Álava, 2014)
Yuca	2000-2012	21	(Molina Loor, 2014)
Promedio		33	

* Análisis ex ante.

3.2 Adopción de las tecnologías

En la Tabla 2 se observan los porcentajes de adopción de las tecnologías generadas por el INIAP obtenidos en 30 estudios encontrados en las bases de datos analizadas. En promedio, el material genético y el resto de las tecnologías o prácticas de manejo desarrolladas por el INIAP han sido adoptadas en un 37 %. El material genético, o la semilla, desarrollada por INIAP tuvo un porcentaje de adopción promedio de 38 %, mientras que las tecnologías de manejo del cultivo tuvieron una adopción de 35 %. Las medianas fueron 33 % y 38 % para genética y prácticas de manejo, respectivamente.

Arroz y papa son los cultivos con más estudios de adopción (Tabla 2). El rubro con mayor porcentaje de adopción a nivel nacional fue el arroz (Moreno, 2014; Monteros y Salvador, 2015) y el de menor adopción fue la cebada (Suquillo, 2014). El nivel de adopción de las tecnologías desarrolladas por INIAP es muy variable, desde 0 % en el caso de prácticas de manejo para el cultivo de maíz duro en las provincias de Los Ríos y Guayas (Chicaiza, 2010), hasta 90 % de adopción de semilla de arroz en la provincia del Guayas (Mendoza, Racines y Espín, 2011). Las razones de esta gran variación fueron diversas. En el caso de Mauceri y col., (2007), las tasas de adopción de prácticas tecnológicas estuvieron

en relación a la relación de los agricultores con extensionistas: i) participantes en escuelas de campo: 23,3 % a 83,3 %, con promedio de 56,5 %; ii) productores que tuvieron contacto con participantes en escuelas de campo: 3,6 % a 85,7 %, con promedio 41,4 %; y, iii) productores que no tuvieron contacto con participantes en escuelas de campo: 2 % a 52,9 %, con un promedio de 21,9 %.

En el caso de prácticas tecnológicas de conservación de recursos naturales desarrolladas para la región alto andina, la tasa de adopción dependió de la localidad y el tipo de tecnología (Barrera y col., 2012). En ese estudio, las tecnologías más adoptadas fueron: rotación de cultivos (localidad 1: 59,41 % y localidad 2: 92,5 %), barreras vivas (localidad 1: 24,69 % y localidad 2: 63,75 %) y reducción de labranza (26,36 % y 76,25 %). Carrión Yaguana y col., (2015) también encontró diferencias en la adopción de prácticas tecnológicas en la zona andina del Ecuador, con un rango de 5,5 a 68,1 %. Las tecnologías más adoptadas fueron: rotación de pesticidas de baja toxicidad (68,1 %), rotación de cultivos (68,1 %) y manejo de los residuos vegetales en el cultivo (37,1 %). En ese mismo estudio se mostró que los factores determinantes para la adopción de las tecnologías fueron: la educación, la salud y el método de capacitación. Otros autores también reportaron diversos niveles de adopción en función del tipo de tecnología en evaluación, que dependerá mucho del rubro estudiado (Sowell y Shively, 2012; Fernández Pérez y Mendoza Coronel, 2011; Cedeño, 2013; Bazurto, 2014).

4 Evaluación de impacto

Diez estudios de evaluación de impacto de las tecnologías desarrolladas por INIAP se han publicado entre el 2007 y 2017 (Tabla 3). Las evaluaciones de impacto han sido en su mayoría ex post, mediante métodos econométricos cuasi-experimentales que consistieron, de manera general, en determinar lo que habría pasado con los beneficiarios de un proyecto, si el proyecto no hubiera existido (Khandker, B. Koolwal y Samad, 2010).

Los estudios han sido realizados, en su mayoría, en los rubros naranjilla y papa. Para el caso de la naranjilla se evaluó el impacto de las plantas injertadas, mientras que para el cultivo de la papa se estudiaron programas de capacitación y las prácticas

de conservación. Los resultados de las evaluaciones muestran efectos positivos en variables económicas, de producción (rendimiento) y ambientales (Tabla 3).

En las económicas, por ejemplo, el uso de tecnologías para el manejo integrado de plagas en el cultivo de papa aumentó el ingreso de los agricultores de 250 a 560 dólares por hectárea (Mauceri y col., 2007). El manejo integrado de los recursos naturales en la región alto andina del Ecuador con tecnología del INIAP aumentó del 65 % al 81 % los ingresos netos de los agricultores.

El manejo y la aplicación adecuada de pesticidas incrementaron el beneficio en el cultivo de papa en un 50 %, mientras que el uso de la Naranjilla injertada incrementó el beneficio económico entre el 40 % y 60 % (Sowell y Shively, 2012). Las tecnologías de conservación evaluadas por el INIAP incrementaron la producción de leche en 122 % (Barrera y col., 2012), y en el cultivo de papa se incrementó la producción en 1,9 toneladas por hectárea (Cavatassi y col., 2011).

En términos ambientales, según sus autores, el desarrollo de la variedad de naranjilla INIAP quitoense liberada en el 2009 permitirá evitar la deforestación de 17300 hectáreas en 20 años (Clements y col., 2016); esta variedad de alto rendimiento permite aumentar la producción sin afectar la frontera agrícola. En el cultivo de haba, las tecnologías de labranza de conservación aumentaron la producción en 10 %. La incorporación de forraje verde (avena) al suelo incrementó el 20 % de la producción de cebada, y 40 % de fréjol (Nguema y col., 2013).

El impacto de la modernización de tecnologías en el cultivo de la mora sobre el precio del mercado de esa fruta también ha sido motivo de estudio (Barrera y col., 2017). Los resultados indican la importancia de implementar altos estándares de calidad durante el proceso productivo. Una sola actividad adicional de modernización durante la producción -como por ejemplo: la cosecha en recipientes listos para la comercialización, el uso de variedades mejoradas, entre otras- incrementa el precio en 34 %. Una comercialización sofisticada -certificaciones orgánicas, asociatividad, conocimiento específico del comprador, entre otras-, y la modernización en ventas -el colocado del producto en mercados apropiados, venta a compradores con mejores precios, entre otras- también incrementan el precio en el 19 % y 27 %, respectivamente.

Tabla 2. Estudios de adopción de tecnologías desarrolladas por el INIAP.

Tema de estudio	Cobertura del estudio	Tasa de adopción de tecnología	Referencia
Arroz	Nacional	Genética: 74 %	(Mendoza, Racines y Chávez, 2010)
Arroz	Guayas	Prácticas de Manejo: 11 % a 89 % Promedio: 41 % Genética: 90 %	(Mendoza, Racines y Espín, 2011)
Arroz	Nacional	Genética: 45 %	(Moreno, 2014)
Arroz	Nacional	Genética: 70 %	(Moreno, 2014)
Arroz	Nacional	Genética: 50 %	(Moreno, 2015)
Arroz	Nacional	Genética: 70 %	(Monteros y Salvador, 2015)
Arroz	Nacional	Genética: 45 %	(Castro, 2016c)
Arroz	Nacional	Genética: 50 %	(Castro, 2016a)
Arroz	Nacional	Genética: 23 %	(Castro, 2016b)
Cacao	Nacional	Genética: 10 %	(Sotomayor, 2011)
Cacao	Manabí	Práctica de Manejo: 1 a 100 % Promedio: 36 % Genética: 6 a 7 %	(Fernández Pérez y Mendoza Coronel, 2011)
Cebada	Nacional	Genética: 1 %	(Suquillo, 2014)
Conservación de recursos naturales	Bolívar	Prácticas de Manejo: 7 a 68 % Promedio: 31 %	(Barrowclough y Dominguez, 2016)
Fréjol	Carchi Imbabura	Genética: 50 %	(Reyes, 2012)
Ganadería Bovina	Manabí Guayas Los Ríos	Práctica de Manejo: 36 % Genética: 27 %	(Bazurto, 2014)
Limón sutil	Nacional	Genética: 40 %	(Salgado, 2013)
Maíz duro	Los Ríos Guayas	Prácticas de Manejo: 0 % Genética: 63 %	(Chicaiza, 2010)
Maíz duro	Nacional	Genética: 23 %	(Racines, Mendoza y Yáñez, 2011)
Maíz duro	Nacional	Genética: 3 %	(Lusero-Sumba, 2014)
Naranja	Pichincha Napó Morona Santiago Pastaza	Práctica de Manejo: 11 a 100 % Promedio: 43 %	(Sowell y Shively, 2012)
Palma Africana	Nacional	Genética: 33 %	(Córdova, 2013)
Papa	Carchi	Prácticas de Manejo: 40 %	(Maucerí y col., 2007)
Papa	Nacional	Genética: 33 %	(Mora, 2012)
Papa	Carchi	Prácticas de Manejo al año 2012: 6 a 68 % Promedio: 28 %	(Carrión Yaguana y col., 2015)
Plátano	Manabí Santo Domingo	Práctica de Manejo: 19 a 61 % Promedio: 39 %	(Cedeño, 2013)
Quinoa y chocho	Cañar Chimborazo Cotopaxi	Genética: 23 %	(Mazón y col., 2016)
Recursos naturales	Bolívar	Prácticas de Manejo: 57 %	(Barrera y col., 2012)
Soya	Nacional	Genética: 3 %	(Álava, 2014)
Yuca	Nacional	Genética: 22 %	(Molina Llor, 2014)
Yuca	Manabí	Genética: 85 %	(Nevárez, 2011)
Promedio		Prácticas de Manejo: 35 % Genética: 38 %	

4.1 Discusión

El análisis de la rentabilidad de los 12 estudios presentados indica que los resultados de la I+D del INIAP, visto en el material genético mejorado y las nuevas prácticas agronómicas, permiten producir más con un retorno económico favorable. La TIR, en términos generales, representa o significa la tasa

de interés o rentabilidad que ofrece una inversión. Para el caso de la TIR de la inversión pública para la generación de tecnologías en el INIAP está en un promedio del 33 %. La distribución de la rentabilidad en los 12 estudios fue amplia, con valores de 0 % hasta 68 %. A pesar de que cada estudio fue realizado de manera independiente, en diversos ru-

Tabla 3. Estudios de evaluación de impacto de tecnologías desarrolladas por el INIAP.

Tema de estudio	Período de estudio	Cobertura del estudio	Indicadores de Impacto Económico y Ambiental	Referencia
Papa	1998-2003	Carchi	*E: Uso del Manejo Integrado de Plagas aumentó el ingreso en 310 dólares por hectárea.	(Mauceri y col., 2007)
Naranjilla	2004-2013	Nacional	A: 17300 ha de deforestación evitada por la adopción de INIAP Quitoense.	(Clements y col., 2016)
Manejo y conservación de recursos naturales	2006-2010	Bolívar	E: Aumento del 65 % a 81 % en los ingresos netos. El manejo adecuado de pesticidas en papa incrementó el beneficio en 50 %. P: Uso de mejores forrajes incrementó la producción de leche en 122 %.	(Barrera y col., 2012)
Papa	2007	Tungurahua Chimborazo	P: Aumento en producción de papa en 1,9 t/ha.	(Cavatassi y col., 2011)
Papa	2009-2012	Carchi	E: Disminución en el gasto por uso de pesticidas en 60 %.	(Carrión Yaguana y col., 2015)
Banano y otras musáceas	2009	Manabí Cotopaxi	A: La biodiversidad, de banano y musáceas, en un predio disminuye 2,56 veces la posibilidad de daño causado por picudo negro.	(Marcillo, 2012)
Naranjilla	2010	Pichincha, Napo, Morona Santiago, Pastaza	E: Se incrementa el beneficio económico de 40 % a 60 %.	(Sowell y Shively, 2012)
Manejo y conservación de recursos naturales	2010-2011	Bolívar	A: Labranza cero en haba aumenta 10 % el rendimiento. La incorporación de avena al suelo incrementa 20 % de producción de cebada, y 40 % en el fréjol.	(Nguema y col., 2013)
Mora	2015-2016	Nacional	E: La modernización de tecnologías de: producción, y comercialización determinan el precio entre 19 y 34 %.	(Barrera y col., 2017)
Manejo y conservación de recursos naturales	2011-2014	Bolívar	P: Los agricultores estuvieron dispuestos a invertir 2 % más en técnicas de Conservación para obtener aumento de 1 % en el rendimiento.	(Barrowclough y Dominguez, 2016)

* A= Ambiental; E= Económico; P= Productivo

bro y diversas regiones del país, el análisis de los resultados mostró una distribución uniforme de datos, con valores de media de 33 % y una mediana de 32 % (Tabla 1).

El método del excedente económico fue el más utilizado para encontrar la TIR. Este método analiza los excedentes generados por el desplazamiento de una curva de una oferta calculada, debido al efecto de los incrementos provocados por el aumento de la superficie plantada y los rendimientos, asignando un peso atribuible a la I+D (Alston, Norton y Pardey, 1998). En otras palabras, este método se basa en que las tecnologías mejoradas permiten producir más con un mismo nivel de insumos. Ese desarrollo

tecnológico permitirá -en función de condiciones de mercado- que tanto productor como consumidor se beneficien en algún grado. La estimación del excedente económico generado por el cambio tecnológico considera el desplazamiento de una curva de oferta debido a incrementos en los rendimientos y en la superficie cultivada.

En el estudio realizado por Reyes, (2012) se evaluaron las ganancias en productividad de variedades de fréjol desarrollados para el reemplazo de variedades antiguas en América Central, Honduras y en el norte de Ecuador, usando datos de productividad experimental. Las ganancias de productividad observada en Ecuador, en particular de las varie-

dades de rojo moteado, están en 1,68 % por año. El mismo autor encontró que el retorno económico de las investigaciones a nivel regional mostró un valor de 358 millones de dólares y un TIR de 32 %, para el caso de Ecuador alcanzó un TIR de 35 % el VAN de 10,9 millones de dólares. El TIR obtenido en 11 de los 12 estudios identificados fue superior al costo de oportunidad de la inversión que ofrece la tasa activa referencial para la inversión pública (9,33 %), publicada por el Banco Central del Ecuador a octubre de 2018 (Banco Central del Ecuador, 2018). Estos resultados corroboran lo indicado por Timmer, (1992), en las cuales se afirma que las productividades agrícolas pueden crecer más rápido que en otros sectores debido a la inversión en el desarrollo científico y tecnológico.

La adopción tecnológica en el sector agropecuario es un proceso complejo que puede cubrir un período de tiempo considerable, ya que no solo requiere que la tecnología a transferir sea buena, si no que se requieren que los actores involucrados tengan los recursos y herramientas para hacerlas llegar a los usuarios finales (Cadena Iñiguez y col., 2018). El promedio de 37 % de adopción de las tecnologías liberadas por INIAP es menor al promedio (40 %) obtenido de trece estudios de adopción contemplados en el trabajo de Barrientos-Fuentes y Berg, (2013); trabajo que recogió información de evaluaciones realizadas en varios países del mundo, en tecnologías agrícolas como: material genético, agricultura de conservación, técnicas de cultivo, manejo de plagas y enfermedades, entre otras.

La transferencia de tecnología en Ecuador no es competencia exclusiva del INIAP, sino que recae en otros actores de un sistema público nacional de extensionismo y asistencia técnica inexistente para el agro ecuatoriano. El éxito del sector agroindustrial estadounidense se debe, entre otros factores, a su elevada adopción tecnológica (Vieira Filho y Fornazier, 2016). En los resultados de evaluaciones de impacto se observaron estudios con indicadores económicos, productivos y de conservación de recursos naturales (ambientales) (Tabla 3). Los trabajos han sido publicados en revistas indexadas, en mayoría son *ex post*, y explican una relación causal solucionando el problema del *contrafactual* mediante métodos econométricos cuasi-experimentales. El principal reto de una evaluación de impacto es identificar lo que habría pasado con

los beneficiarios de un programa, si el programa no hubiera existido (Khandker, B. Koolwal y Samad, 2010).

El impacto de la inversión en investigación también ha sido evaluado a nivel regional, donde se estimó que el valor económico potencial causado por las tecnologías desarrolladas por INIAP y otros institutos públicos de la región andina para el control de tizón tardío en papa pudo alcanzar los 298 millones de dólares en 20 años (González, 1998). Un estudio más reciente en Brasil reportó que el incremento de la productividad de la tierra observado en los últimos años se debe, entre otros factores, al acrecentamiento de la inversión en investigación, especialmente en el instituto nacional de investigaciones agropecuarias-Embrapa (Gasques, Vieira Filho y Navarro, 2010).

Estos resultados corroboran los resultados de la Tabla 3, ya que demuestran que la inversión en I+D genera un impacto positivo en el sector agropecuario a mediano y largo plazo. Sin embargo, estos impactos no llegan a todos los agricultores ni han resuelto todas las necesidades del agro ecuatoriano. A pesar que la inversión en I+D agropecuario registró un crecimiento de 9 % durante el período 2009–2014 (SENESCYT e INEC. n.d, 2014), Ecuador tiene uno de los índices más bajos de inversión en actividades de I+D en Sudamérica, con un gasto de 0,18 % de su PIB Agropecuario-PIBA (Stads y col., 2016), valor muy por debajo de lo recomendado por el Banco Mundial (2 % del PIBA) o el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (1 % del PIBA) (UNCTAD, 2007; OEA, IICA, 1999).

5 Conclusiones

En el período 2007-2017 se han publicado 37 estudios socioeconómicos de impacto, rentabilidad o adopción de las tecnologías desarrolladas por INIAP, realizadas por trece instituciones, como: Virginia Tech, University Purdue, la Escuela Politécnica del Ejército, INIAP, entre otras. De los resultados obtenidos se concluye que, en promedio, las tecnologías desarrolladas por el INIAP, como principal centro de I+D agropecuario del Ecuador, han generado una tasa interna de retorno de 33 %, con una adopción del 37 %, resultados positivos que justifican la inversión pública en ciencia y tecnología en

el sector agropecuario del Ecuador. Sin embargo, es evidente que para tener una mejor estadística se requieren de muchos más estudios, sobre todo de impacto, en un mayor número de rubros y temas de investigación que realiza el instituto, por ejemplo en café, cacao, conservación de agrobiodiversidad y valor agregado (agroindustria). Adicionalmente, es necesario incrementar la inversión en ciencia y tecnología, y consolidar un sistema nacional de extensionismo y asistencia técnica para los agricultores ecuatorianos, que incremente la adopción de las tecnologías generadas y que contribuya al desarrollo de una agricultura sostenible y de referencia para la región.

Agradecimientos

Se agradece a Karla Tinoco y Cristina Iglesias por el apoyo brindado en la búsqueda del material bibliográfico utilizado en el presente artículo.

Referencias

- Álava, Giancardo (2014). «Estimación del impacto económico de las inversiones realizadas por el INIAP en generación y transferencia de tecnologías, en el cultivo de Soya, durante el periodo 2000-2012». B.S. thesis. Universidad Técnica de Babahoyo. Online: <https://bit.ly/2Tdc5D4>, págs. 1-67.
- Alston, Julian, George Norton y Philip Pardey (1998). *Science under scarcity: principles and practice for agricultural research evaluation and priority setting*. Ed. por CAB International. Cornell University Press. Online: <https://bit.ly/2yJiaOh>.
- Banco Central del Ecuador, ed. (2018). *Tasas Interés Efectivas: Octubre 2018*. Quito: Online: <https://bit.ly/2Law9oD>.
- Barrera, V. y col. (2012). «Integrated management of natural resources in the Ecuador Highlands». En: Online: <https://bit.ly/2yFRQES>.
- Barrera, V. y col. (2017). *La cadena de valor de la mora y sus impactos en la Región Andina del Ecuador*. Inf. téc. 171. Quito-Ecuador. Online: <https://bit.ly/2OGoeZ9>; Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Unidad de Economía Agrícola.
- Barrientos-Fuentes, J. C. y E. Berg (2013). «Impact assessment of agricultural innovations: a review». En: *Agronomía Colombiana* 31.1, 120-130. Online: <https://bit.ly/2GTIU4j>.
- Barrowclough M.; Stehouwer, R.; Alwang J.; Gallagher R.; Mosquera V.; Barrera V. y J. Domínguez (2016). «Conservation agriculture on steep slopes in the Andes: Promise and obstacles». En: *Journal of Soil and Water Conservation* 71.2, 91-102. Online: <https://bit.ly/2yJ6Bqr>.
- Bazurto, D. (2014). «Incidencia productiva y socio-económica en productores de ganado bovino doble propósito en cuatro cantones del litoral, como consecuencia del grado de apoderamiento de tecnologías promovidas por el INIAP». Tesis de pregrado. Quevedo: Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Online: <https://bit.ly/2YSsF0k>.
- Cadena Iñiguez, Pedro y col. (2018). «Proceso de comunicación, extensionismo y adopción de tecnologías». En: *Revista mexicana de ciencias agrícolas* 9.4, 851-864. Online: <https://bit.ly/2yHCX4H>.
- Carrión Yaguana, Vanessa y col. (2015). «Does IPM have staying power? Revisiting a potato-producing area years after formal training ended». En: *Journal of agricultural economics* 67.2, 308-323. Online: <https://bit.ly/2YMVPxR>.
- Castro, M. (2016a). *Rendimiento de arroz en cáscara, segundo trimestre 2016*. Inf. téc. Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca, Dirección de Análisis y Procesamiento de la Información, Coordinación General del Sistema de Información Nacional. Online: <https://bit.ly/2yLjGPU>.
- (2016b). *Rendimiento de arroz en cáscara, tercer trimestre 2016*. Inf. téc. Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca, Dirección de Análisis y Procesamiento de la Información, Coordinación General del Sistema de Información Nacional. Online: <https://bit.ly/2yLjGPU>.
- (2016c). *Rendimientos del arroz en cáscara primer trimestre del 2016*. Inf. téc. Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca, Dirección de Análisis y Procesamiento de la Información, Coordinación General del Sistema de Información Nacional. Online: <https://bit.ly/2yLjGPU>.
- Cavatassi, Romina y col. (2011). «How do agricultural programmes alter crop production? Evidence from Ecuador». En: *Journal of Agricultural Economics* 62.2, 403-428. Online: <https://bit.ly/2Kz2qmu>.

- Cedeño, Marilú I. (2013). «Factores agrosocioeconómicos que inciden en la adopción de tecnologías generadas por el INIAP para el cultivo de plátano en la zona El Carmen-Santo Domingo año 2013.» Tesis de pregrado. Quevedo: Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Online: <https://bit.ly/2Kn0jmZ>.
- Chicaiza, G. (2010). «Determinación del nivel de adopción del híbrido del maíz duro INIAP H-551 y sus componentes tecnológicos». Tesis de pregrado. Sangolquí-Ecuador: Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Online: <https://bit.ly/31qX0ka>.
- Clements, C. y col. (2016). «Graft is good: the economic and environmental benefits of grafted naranjilla in the Andean region». En: *Renewable Agriculture and Food Systems* 32.4, 306-318. Online: <https://bit.ly/33aTADY>.
- Córdova, J. (2013). «Impacto económico de las inversiones realizadas por el INIAP en investigación y transferencia de tecnología en palma africana (*Elaeis guineensis* Jacq). Ecuador. 2000-2011.» Tesis de pregrado. Quito-Ecuador: Universidad Central del Ecuador. Online: <https://bit.ly/2KAHyv1>.
- Feinstein, O. (2012). «La institucionalización de la evaluación de políticas públicas en América Latina». En: *Presupuesto y gasto público* 68, 41-52. Online: <https://bit.ly/33hBq3B>.
- Fernández Pérez, Miguel Ángel y Luis Mendoza Coronel (2011). «Determinación de la adopción de genotipos de cacao y sus componentes tecnológicos generados por INIAP, en zonas cacaoteras representativas de Manabí». Tesis de pregrado. Sangolquí: Universidad de las Fuerzas Armadas. Online: <https://bit.ly/2ZQdxOc>.
- Gasques, J., J. Vieira Filho y Z. Navarro (2010). «A agricultura brasileira: desempenho, desafios e perspectivas». En: Online: <https://bit.ly/2MM05rk>.
- González, J. (1998). *Evaluación económico-ecológica de temas de investigación agropecuaria en los países andinos*. Vol. 5. Ilica, Online: <https://bit.ly/2KiPbHM>.
- Guayasamín, M. (2015). «Evaluación ex ante del impacto socio-económico del manejo convencional y mejorado del cultivo de naranjilla (*Solanum quitoense*) en el Ecuador». Tesis de pregrado. Quito: Universidad Central del Ecuador. Online: <https://bit.ly/33kXFFC>.
- Khandker, Shahidur, Gayatri B. Koolwal y Husain Samad (2010). *Handbook on impact evaluation: quantitative methods and practices*. The World Bank, Online: <https://bit.ly/2Tbrjsx>.
- López C., Salazar L. y De Salvo C. (2017). *Gasto Público, Evaluaciones de Impacto y Productividad Agrícola: Resumen de Evidencias de América Latina y el Caribe*. Inf. téc. Banco Interamericano de Desarrollo, División del Medio Ambiente, Desarrollo Rural y Administración de Riesgos por Desastres. Online: <https://bit.ly/2yFGnFl>.
- Lusero-Sumba, E. (2014). *Producción histórica de maíz duro seco*. Inf. téc. Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca, Dirección de Análisis y Procesamiento de la Información, Coordinación General del Sistema de Información Nacional. Online: <https://bit.ly/33kICM6>.
- Marcillo, J. (2012). «Contribución económica de la biodiversidad de musas spp. a la sostenibilidad de la producción agrícola a nivel del pequeño productor. caso el Carmen y la Maná en el año 2009». Tesis de pregrado. Quito: Escuela Politécnica Nacional. Online: <https://bit.ly/2YygkiI>.
- Mauceri, M. y col. (2007). «Effectiveness of integrated pest management dissemination techniques: a case study of potato farmers in Carchi, Ecuador». En: *Journal of Agricultural and Applied Economics* 39.3, 765-780. Online: <https://bit.ly/2YygkiI>.
- Mazón, N. y col. (2016). «It's not just the technology, it's the surrounding system: how researchers in Ecuador found ways to make themselves useful to farmers through quinoa and lupin seed systems». En: *Experimental Agriculture*, 1-18. Online: <https://bit.ly/2YRQ3uZ>.
- Mendoza, L., M. Racines y J. Chávez (2010). *Retornos económicos de la investigación y transferencia de tecnologías generadas por INIAP-Ecuador: El Caso Arroz*. Inf. téc. 141. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Dirección de Planificación y Economía Agrícola. Online: <https://bit.ly/2yJp1Y7>.
- Mendoza, L., M. Racines y O. Espín (2011). *Adopción de la variedad de arroz INIAP-14 y sus componentes tecnológicos, en el proyecto de riego Améri-ca Lomas, cantón Daule, provincia del Guayas*. Inf. téc. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Dirección de Planificación y Economía Agrícola. Online: <https://bit.ly/2MKkhJP>.
- Molina Loor, Jimmy Javier (2014). «Determinación del impacto económico de las inversiones reali-




- zadas por el INIAP en la generación y transferencia de tecnologías en el rubro yuca (*Manihot esculenta* Crantz).» Tesis de pregrado. Portoviejo: Universidad Técnica de Manabí. Online: <https://bit.ly/2KzhS1Y>.
- Monteros, A. y S. Salvador (2015). *Rendimientos del arroz en cáscara segundo cuatrimestre del 2015*. Inf. téc. Quito-Ecuador. Online: <https://bit.ly/31n1Uij>; Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca, Dirección de Análisis y Procesamiento de la Información.
- Mora, J. (2012). «Estimación del retorno económico de la investigación y transferencia de tecnologías generadas por el INIAP en el rubro papa, Ecuador. Período 2000-2010». Tesis de pregrado. Quito-Ecuador: Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE. Online: <https://bit.ly/2OTLDAe>.
- Moreno, B. (2014). *Rendimientos del arroz en cáscara en el Ecuador, primer cuatrimestre de 2014*. Inf. téc. Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca, Dirección de Análisis y Procesamiento de la Información, Coordinación General del Sistema de Información Nacional. Online: <https://bit.ly/2yJ2Ot0>.
- (2015). *Rendimientos del arroz en cáscara en el Ecuador, primer cuatrimestre de 2015*. Inf. téc. Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca, Dirección de Análisis y Procesamiento de la Información, Coordinación General del Sistema de Información Nacional. Online: <https://bit.ly/2GTFsWf>.
- Nevárez, V. (2011). «Impacto de variedades de yuca INIAP-PORTOVIEJO 650 e INIAP-PORTOVIEJO 651 en el desarrollo agroindustrial de cuatro cantones de Manabí». Tesis de pregrado. Calceta: escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López. Online: <https://bit.ly/2YU0ytX>.
- Nguema, Abigail y col. (2013). «Farm-level economic impacts of conservation agriculture in Ecuador». En: *Experimental Agriculture* 49.1, 134-147. Online: <https://bit.ly/2ZQAY3y>.
- OEA, IICA (1999). *Balance del estado general y la evolución de la agricultura y el Medio Rural de América: retos y oportunidades en el Siglo XXI*. San José: OEA, Online: <https://bit.ly/2YwHo1T>.
- Racines, M., L. Mendoza y F. Yáñez (2011). *Retorno económico de la investigación y transferencia de tecnología generada por INIAP: caso maíz duro*. Inf. téc. 143. Quito-Ecuador. Online: <https://bit.ly/31n1Uij>; Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Dirección de Planificación y Economía Agrícola.
- Rade, Diana y col. (2017). «Silvopastoral System Economical and Financial feasibility with *Jatropha curcas* L. in Manabí, Ecuador». En: *Revista MVZ Córdoba* 22.3, 6241-6255. Online: <https://bit.ly/33lcMyQ>.
- Reyes, B. (2012). *The Economic Impact of Improved Bean Varieties and Determinants of Market Participation: Evidence from Latin America and Angola*. Michigan State University. Agricultural, Food y Resource Economics, Online: <https://bit.ly/2GTlr26>.
- Rivas, L. y col. (1992). *Modelo de análisis de excedentes económicos*. Inf. téc. 107. Online: <https://bit.ly/2OLD4az>; Centro Internacional de Agricultura Tropical CIAT.
- SENESCYT e INEC. n.d, ed. (2014). *Indicadores de Actividades de Ciencia, Tecnología e Innovación (ACTI) del Ecuador, Período 2009-2014*. Quito. Online: <https://bit.ly/2ON21Cm>; Editogram Medios Públicos.
- Salgado, J. (2013). «Estimación del impacto económico de las inversiones realizadas por el INIAP en investigaciones y transferencia de tecnología en "Limón sutil" (*Citrus aurantifolia* Swingle)». Tesis de pregrado. Portoviejo: Universidad Técnica de Manabí. Online: <https://bit.ly/2YQVAXG>.
- Sotomayor, D (2011). «Estimación de los retornos de las inversiones realizadas por INIAP en investigación y transferencia de tecnologías en cacao, Ecuador (2000-2010)». Tesis de pregrado. Quito-Ecuador: escuela Politécnica del Ejército. Online: <https://bit.ly/2M4MGek>.
- Sowell, Andrew y Gerald Shively (2012). «Economic and environmental impacts of grafted naranjilla». En: *Forests, Trees and Livelihoods* 21.1, 30-43. Online: <https://bit.ly/2ZENFJT>.
- Stads, G. y col. (2016). *Ecuador: Ficha técnica - indicadores de I+D agropecuario*. Inf. téc. International Food Policy Research Institute (IFPRI) y National Institute for Agricultural Research. Online: <https://bit.ly/2yJ19Ui>.
- Suquillo, F. (2014). «Estimación del impacto económico de las inversiones realizadas por el INIAP, en la generación y transferencia de tecnologías en cebada (*Hordeum vulgare* L.)» Tesis de pregrado. Sangolquí: Universidad de las Fuerzas Armadas. Online: <https://bit.ly/2OGWwF7>.

- Timmer, C. Peter (1992). «Agriculture and economic development revisited». En: *Agricultural Systems* 40.1-3, 21-58. Online:<https://bit.ly/33f2UGV>.
- UNCTAD (2007). *Los países menos adelantados: el conocimiento, el aprendizaje tecnológico y la innovación para el desarrollo. Informe 2007*. Inf. téc. Naciones Unidas, New York y Ginebra., 254. Online:<https://bit.ly/33kOHbo>.
- Vieira Filho, José Eustáquio Ribeiro y Armando Fornazier (2016). «Productividad agropecuaria: reducción de la brecha productiva entre el Brasil y los Estados Unidos de América». En: *Revista Cepal*, Online:<https://bit.ly/2TbxY5S>.



PATRÓN DE CRECIMIENTO DURANTE LA PRIMERA GESTACIÓN DE VAQUILLONAS CRUZA CON PADRE BRAHMAN Y DIFERENTE GENOTIPO MATERNO

GROWTH PATTERN DURING THE FIRST GESTATION OF HEIFERS CROSSES WITH BRAHMAN FATHER AND DIFFERENT MATERNAL GENOTYPE

Orlando Roberto Quinteros Pozo^{*1} , Ricardo José Di Masso²  y Pablo
Roberto Marini² 

¹ Centro Latinoamericano de Estudios de Problemáticas Lecheras (CLEPL), Universidad Estatal Amazónica, Calle Teniente Hugo Ortiz E45, Puyo, Ecuador

² Centro Latinoamericano de Estudios de Problemáticas Lecheras (CLEPL), Facultad de Ciencias Veterinarias, Universidad Nacional de Rosario, Maipú 1065, Santa Fe, Argentina

*Autor para correspondencia: oquinteros@uea.edu.ec

Manuscrito recibido el 28 de enero de 2019. Aceptado, tras revisión, el 12 de julio de 2019. Publicado el 1 de septiembre de 2019.

Resumen

El objetivo del presente trabajo fue evaluar el patrón de crecimiento durante la primera gestación de vaquillonas cruza con padre Brahman y diferente genotipo materno en la Amazonía Ecuatoriana. Se utilizaron datos retrospectivos de 2304 pesos individuales de 48 vacas cruza lecheras. Con ello, se evaluó el comportamiento dinámico del peso corporal de cuatro genotipos: Brahman x Gyr (Gyr) (n=12), Brahman x Brown Swiss (BS) (n=12), Brahman x Jersey (J) (n=12) y Brahman x Sahiwal (S) (n=12), pertenecientes al rodeo lechero del Centro de Investigación, Posgrado y Conservación de la Biodiversidad Amazónica (CIPCA) – Ecuador. Las diferencias entre genotipos en el peso corporal a la preñez y al primer parto no fueron estadísticamente significativas. Se observaron diferencias en la edad a la primera preñez correspondiendo la mayor precocidad a la cruza con madre Brown Swiss y la menor precocidad a las cruza con Gyr y Sahiwal. Las hembras producto del cruzamiento con Jersey presentaron un comportamiento intermedio. Se observó que, durante su primera gestación, las vaquillonas F1 con padre Brahman y diferente genotipo materno presentan similar patrón de crecimiento en las condiciones limitantes de la Amazonía Ecuatoriana, respuesta interpretable en términos de interacción genotipo-ambiente negativa.

Palabras clave: edad al primer parto, aumento de peso, cruzamientos, interacción genotipo-ambiente, Amazonía.

Abstract

The objective of the present work was to evaluate the growth pattern during the first gestation of heifers crossed with Brahman father and different maternal genotype in the Ecuadorian Amazon. Retrospective data of 2304 individual weights of 48 dairy cows were used. The dynamic behavior of the body weight of four genotypes was evaluated: Brahman x Gyr (Gyr) (n=12), Brahman x Brown Swiss (BS) (n=12), Brahman x Jersey (J) (n=12) and Brahman x Sahiwal (S) (n=12) belonging to the dairy herd of the Research Center, Postgraduate studies and Preservation of the Amazonia Biodiversity (CIPCA) – Ecuador. The differences between genotypes in body weight at pregnancy and at first birth were not statistically significant. Differences in age at the first pregnancy were observed, with the highest precocity at crossing with Brown Swiss mother and the lower precocity at crosses with Gyr and Sahiwal. The females produced by crossing with Jersey showed intermediate behavior. It was observed that, during their first gestation, F1 heifers with Brahman father and different maternal genotype have a similar growth pattern under the conditions of the Ecuadorian Amazon, response in terms of negative genotype-environment interaction.

Keywords: age at first calving, weight gain, crosses, genotype-environment interaction, Amazonia.

Forma sugerida de citar: Jiménez Ruíz, E. R., Fonseca González, W. y Pazmiño Pesantez, L. (2019). Patrón de crecimiento durante la primera gestación de vaquillonas cruza con padre Brahman y diferente genotipo materno. *La Granja: Revista de Ciencias de la Vida*. Vol. 30(2):40-47. <http://doi.org/10.17163/lgr.n30.2019.04>.

IDs Orcid:

Orlando Roberto Quinteros Pozo: <https://orcid.org/0000-0002-3808-257X>

Ricardo José Di Masso: <https://orcid.org/0000-0003-4873-5156>

Pablo Roberto Marini: <https://orcid.org/0000-0003-0826-0387>

1 Introducción

Calderón y col., (1993) y Abeygunawardena y Dematawewa, (2004) informaron que las hembras provenientes de cruzamientos entre razas cebuinas y europeas, inician la pubertad a una edad más temprana que las razas puras en condiciones de trópico húmedo, con valores de 15 y 19 meses, respectivamente. La variabilidad genética existente tanto dentro como entre razas se traduce en diferencias en la edad y el peso corporal a la presentación del primer, afectando posteriores a eventos de carácter reproductivo que terminan siendo determinantes en la aptitud productiva global (Navarrete, 1995; Nogueira, 2004). Por esta razón, es importante contar con grupos raciales adaptados a estas condiciones particulares, que sean capaces de superar las limitantes productivas que presentan las razas de *Bos taurus* en estas regiones. En este sentido, se ha observado que las vacas producto de cruzamientos Brahman x *Bos taurus* presentan mayor fertilidad, mayor producción de leche y mayor longevidad que aquellas de genotipo *Bos taurus* puro (Grajales, Hernández y Prieto, 2006; Zambrano-Sepúlveda y col., 2014). Sin embargo, al aumentar la proporción de genes de origen índico, las hembras tienden a retrasar la edad a la pubertad y ello impacta negativamente en su comportamiento reproductivo posterior. En este sentido, se ha constatado (Rocha y Lobato, 2002; Zambrano y Contreras, 2014) la incapacidad de las vacas cruza Brahman x *Bos taurus* para producir una hembra de reemplazo que mantenga sus mismas características de productividad como consecuencia de la pérdida de la heterosis con respecto a la expresada por la F1.

El registro del peso vivo de los bovinos es una estrategia que permite monitorear el comportamiento en su entorno natural. Esta información se utiliza con diversos propósitos, entre los cuales cabe mencionar la determinación del nivel de alimentación adecuado y el estado nutricional de los animales, el control de la tasa de crecimiento y las respuestas a la selección genética (Marulanda, 1996; Lesosky y col., 2013; Lukuyu y col., 2016). En resumen, la evaluación del peso vivo de los animales en los sistemas de producción ganadera resulta fundamental si se desean implementar prácticas adecuadas de manejo de los pastizales tendientes al logro de una producción sustentable en la Amazonía. En este contexto, el objetivo del presente trabajo fue

evaluar el patrón de crecimiento durante la primera gestación de vaquillonas cruza con padre Brahman y diferente genotipo materno en la Amazonía Ecuatoriana.

2 Materiales y métodos

Se utilizaron datos retrospectivos de 2304 registros individuales del peso corporal de 48 vacas cruza lecheras pertenecientes a cuatro genotipos: Brahman x Gyr (Gyr) (n=12), Brahman x Brown Swiss (BS) (n=12), Brahman x Jersey (J) (n=12) y Brahman x Sahiwal (S) (n=12) pertenecientes al rodeo lechero del Centro de Investigación, Posgrado y Conservación de la Biodiversidad Amazónica (CIPCA), ubicado en el cantón Carlos Julio Arosemena Tola de la provincia de Napo (Ecuador), en el kilómetro 44 vía Puyo-Tena (coordenadas: S 01° 14.325; O 77° 53.134) y dispone de una superficie de 42 ha de pastos destinada a la cría. Las vaquillonas evaluadas provenían del mismo establecimiento y habían sido criadas bajo las mismas condiciones ambientales, nutricionales y de manejo e ingresaron al CIPCA con 15-17 meses de edad y pesos corporales (promedio \pm EE) de $204 \pm 7,7$ kg (G); $276 \pm 11,0$ kg (BS); $204 \pm 8,7$ kg (J) y $186 \pm 6,0$ kg (S). A los fines de evaluar el comportamiento dinámico del peso corporal, todos los animales se pesaron cada 30 días en forma individual, entre los meses de diciembre de 2012 y diciembre de 2016. La alimentación del hato bovino en estudio fue de pastoreo libre, con pastizales en base de *Brachiaria decumbens* (17 585 kg MS/ha/año; Proteína: 10,6 % Fósforo: 0,18 %; DIV: 44,4 %), *Brachiaria brizantha* (26 970 kg MS/ha/año; Proteína: 10,1 %; Fósforo: 0,18 %; DIV: 44,1 %), *Arachis pintoi* (6 212 kg MS/ha/año; Proteína: 19,4 %; Fósforo: 0,21 %; DIV: 59,2 %), *Desmodium ovalifolium* (5 890 kg MS/ha/año; Proteína: 16,3 %; Fósforo: 0,16 %; DIV: 39,6 %) y *Stylosanthes guianensis* (15 237 kg MS/ha/año; Proteína: 21,4 %; Fósforo: 0,4 %; DIV: 48,7 %) (Leonard, 2015).

El manejo sanitario aplicado fue el habitualmente empleado para el rodeo bovino del CIPCA, el cual incluye desparasitaciones, baños contra garrapatas y moscas, vacunaciones para fiebre aftosa, rabia bovina y estomatitis vesicular y la aplicación inyectable de vitaminas y minerales. Se registró en forma individual el peso corporal (kg) a la primera preñez, la edad (días) a la primera preñez y el peso corporal (kg) a la primera parición. La normalidad de la

distribución de cada una de dichas variables se evaluó con el test ómnibus de D'Agostino y Pearson (D'Agostino y Pearson, 1973), y la homogeneidad de sus variancias con la prueba de Brown-Forsythe (Brown y Forsythe, 1974). Para cada genotipo se calculó el peso corporal promedio a intervalos mensuales durante la primera gestación. Los datos promedio se graficaron en función de los meses de gestación identificándose en todos los casos un comportamiento asimilable a un modelo lineal, el que se constató con un test de rachas o ciclos. El efecto del grupo genético sobre los valores de los estimadores de los parámetros de la función lineal se evaluó con un análisis de la covariancia.

3 Resultados

La Tabla 1 muestra el efecto del grupo genético sobre las tres variables respuesta. Todas ellas mostraron distribución normal y variancias homogéneas. Las diferencias observadas entre genotipos en el peso corporal a la preñez y al primer parto no fueron estadísticamente significativas. Se observaron diferencias en la edad a la primera preñez, correspondiendo la mayor precocidad a la cruce con madre Brown Swiss y la menor precocidad a las cruces con Gyr y Sahiwal. Las hembras producto del cruce con Jersey presentaron un comportamiento intermedio.

Tabla 1. Edad y peso corporal a la primera preñez en cuatro grupos de vaquillonas F1 con padre Brahman y diferente genotipo materno.

Variable	Genotipo materno				Contrastes
	Gyr	Brown Swiss	Jersey	Sahiwal	
Edad (días)	1148 ^c ± 57,7	852 ^{a,b} ± 38,3	994 ^{b,c} ± 49,5	1135 ^c ± 54,4	F = 7,619 p = 0,0003
Peso preñez (kg)	319 ± 17,3	350 ± 9,5	308 ± 13,6	324 ± 8,6	F = 1,239p = 0,307
Peso parto (kg)	392 ± 15,8	414 ± 18,8	399 ± 14,0	399 ± 11,0	F = 1,239p = 0,307

Todos los valores corresponden a la media aritmética ± error estándar.

Tamaño muestral: n = 12 individuos por grupo.

a, b, c Valores con diferente letra difieren al menos al 0,05

Al ajustar los datos de peso corporal promedio vs meses de gestación se constató una desviación no significativa de la linealidad para los cuatro grupos genéticos [madre Gyr (p = 0,833), madre Brown Swiss (p = 0,283), madre Jersey (p = 0,881) y madre Sahiwal (p = 0,405)]. Los valores del coeficiente de determinación lineal (R^2) y las variancias residuales

(S_{yx}) pusieron de manifiesto una adecuada bondad de los ajustes [madre Gyr ($R^2 = 0,773$; $S_{yx} = 9,88$), madre Brown Swiss ($R^2 = 0,958$; $S_{yx} = 6,00$), madre Jersey ($R^2 = 0,967$; $S_{yx} = 5,54$) y madre Sahiwal ($R^2 = 0,975$; $S_{yx} = 3,85$)]. Las ecuaciones de regresión correspondientes a los diferentes grupos se presentan la Tabla 2.

Tabla 2. Regresión de los diferentes grupos de madres.

Madre Gyr	Y= 5,676 * X + 321,2
Madre Pardo suizo	Y= 8,884 * X + 342,5
Madre Jersey	Y= 9,347 * X + 307,5
Madre Sahiwal	Y= 7,488 * X + 321,7

Los valores de la ordenada al origen (estimadores del peso corporal al inicio de la preñez) no mos-

traron diferencias (p >0,05) con los valores observados:

Tabla 3. Ordenadas de la regresión de los diferentes grupos de madres.

Genotipo	Ordenada	Peso registrado
Madre Gyr	a= 321,2 Kg	319Kg
Madre Pardo suizo	a=342,5 Kg	350 Kg
Madre Jersey	a=307,5 Kg	308 Kg
Madre Sahiwal	a=321,7 Kg	324 Kg

Tabla 4. Pendientes de la regresión de los diferentes grupos de madres.

Genotipo	Regresión	Significancia
Madre Gyr	$b \pm S_b = 5,676 \pm 1,088$ kg/mes	$F = 27, 2$ p = 0,0008
Madre Pardo suizo	$b \pm S_b = 8,884 \pm 0,661$ kg/mes	$F = 181$ p <0,0001
Madre Jersey	$b \pm S_b = 9,347 \pm 0,610$ kg/mes	$F = 235$ p <0,0001
Madre Sahiwal	$b \pm S_b = 7,488 \pm 0,423$ kg/mes	$F = 313$ p <0,0001

Todas las pendientes fueron estadísticamente diferentes de 0. El análisis de la covarianza puso en evidencia una diferencia estadísticamente significativa en el valor de las pendientes ($F = 5,018$; $p = 0,0058$) de los diferentes grupos genéticos, lo que impidió comparar las diferencias en altura. Debido a que las pendientes estiman la tasa de ganancia diaria de peso a lo largo de la gestación, la diferencia observada entre las mismas puso en evidencia un comportamiento particular de las hembras pro-

ducto del cruzamiento Brahman x Gyr que mostraron un menor aumento de peso en el período. Al excluir a dicho grupo del análisis, las diferencias entre las pendientes de los tres genotipos restantes fueron estadísticamente no significativas ($F = 2,845$; $p = 0,078$) lo que permitió calcular una pendiente común a todas ellas ($bc = 8,573$ kg/mes) y comparar las alturas que resultan estadísticamente diferentes ($F = 99,4$; $p < 0,0001$).

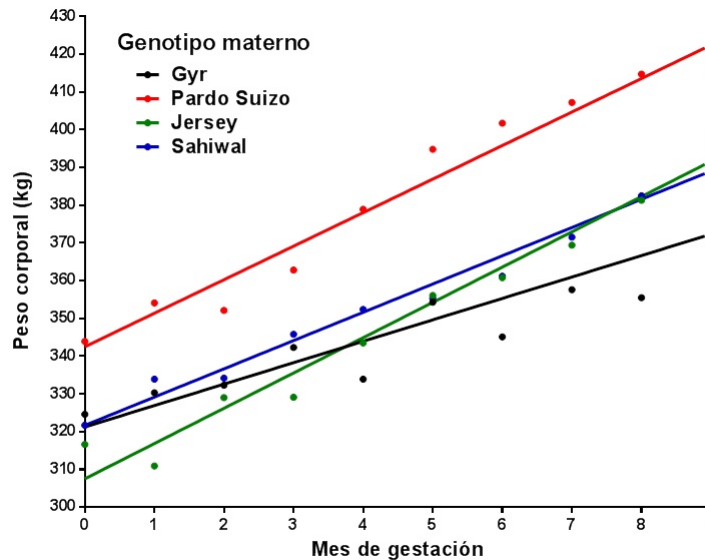


Figura 1. Patrón de crecimiento lineal durante la primera gestación de vacas cruza con genotipo paterno Brahman y diferente genotipo materno en condiciones de pastoreo en la Amazonia ecuatoriana.

4 Discusión

En Ecuador, al igual que en otros países del trópico y el subtrópico de Latinoamérica, ha existido una fuerte tendencia a la sustitución de las razas locales por razas exóticas con el fin de incrementar los niveles de producción de leche. Estas razas, introducidas en la zona con fines de mejoramiento, provienen de regiones donde las condiciones climáticas y nutricionales son generalmente más favorables en comparación con las imperantes en la zona de destino, por lo que su rendimiento productivo en general se ve afectado negativamente. Ante esta evidencia, una estrategia de manejo genético a la cual han recurrido los productores locales es la utilización de cruzamientos entre razas cebuinas (*Bos indicus*) y razas europeas (*Bos taurus*), en un intento por minimizar los problemas de adaptación evidentes en estas últimas (Tewolde, 1993; Madaleña, 2012).

Pese a sus diferencias de tamaño corporal, todos los genotipos evaluados en este trabajo mostraron similar comportamiento en términos de patrón de crecimiento durante su primera gestación. Este resultado coincide con evidencia previa, según la cual los aumentos de pesos mensuales durante la recría hasta el primer servicio de los cuatro genotipos lecheros cruza analizados fueron de 0,201 kg/día, acordes a la región en estudio. Ninguno de los cruzamientos lecheros se destacó por encima del otro, mostrando todos ellos una paridad en este aspecto (Quinteros y col., 2015).

El hecho que las vaquillonas en estudio no se diferencian en sus ganancias de peso durante la primera gestación, independientemente de su constitución genética, puede interpretarse en términos de una correlación genotipo-ambiente negativa. De acuerdo con ello, al mejor genotipo en términos de velocidad de crecimiento potencial –cruza con Brown Swiss– le corresponde comparativamente el peor ambiente. Esta afirmación se sustenta en el hecho que, si el peso a la preñez representó el 65% del peso adulto de cada genotipo materno, el peso al parto debería haber sido el 90% del peso adulto, con valores teóricos para Brahman x Gyr de 441 kg, para Brahman x Brown Swiss de 538 kg, para Brahman x Jersey de 473 kg y para Brahman x Sahiwal de 498 kg. Esta predicción difiere de los resultados informados en este trabajo con pesos corporales

observados menores a los esperados bajo dicha hipótesis (Tabla 1), y acordes con los que el ambiente limitante de la zona les permitió expresar. La elevada humedad relativa y las altas temperaturas características de la Amazonía ecuatoriana son factores que impactan negativamente sobre las vacas, y de acuerdo a lo planteado por Sánchez, (2010) y Arias, Mader y Escobar, (2008), los animales producirán en la medida que las condiciones del medio ambiente les permitan expresar su potencial productivo. La baja rentabilidad de las producciones refleja los valores resultantes de la evaluación de variables productivas y reproductivas, utilizadas como indicadores de su tasa o nivel de utilidad económica y adaptación de los animales, expresados bajo la forma de promedios de edad al primer parto, intervalo entre partos y presentación celo postparto y producción de leche (Morales, 2009; Motta y col., 2012; Quinteros-Pozo y Marini, 2017).

El grupo con genotipo materno Brown Swiss comienza la preñez a una edad más temprana (mayor precocidad), y si bien las diferencias no alcanzaron significado estadístico con mayor peso corporal, esa diferencia se mantiene a lo largo de toda la gestación. Probablemente una mejora en la calidad y en la cantidad de la dieta ofrecida podría aumentar la ganancia media diaria peso; sin embargo, la realidad indica que esta opción no es siempre posible, por lo que se deberían pensar alternativas haciendo uso de los elementos disponibles en la Amazonía. A este respecto, hay antecedentes que demuestran que valores de ganancia de peso comprendidos entre los 600 y 750 gramos por día serían óptimos para las futuras vacas lecheras, mientras que valores menores podrían ser causa de un retraso de la pubertad (Wathes y col., 2014; González-Stagnaro y col., 2007). Sin embargo, en general, se trata de trabajos que no han sido realizados en ambientes como el de la Amazonía, por lo que la transferencia de los resultados derivados de ellos no resulta siempre posible.

5 Conclusión

Los resultados permiten corroborar que las condiciones ambientales limitantes reinantes en la Amazonia Ecuatoriana, impiden la expresión de las diferentes potencialidades genéticas de las vaquillonas F1 con padre Brahman y diferente genotipo ma-

terno durante su primera gestación, dando como resultado un similar patrón de crecimiento en todas ellas. Teniendo en cuenta que lo que se mide en los animales es un fenotipo que resulta de la acción de su composición genética particular en el medio ambiente en el que le toca expresarse, la elección de una craza en particular estará determinada por la factibilidad de ofertar un ambiente nutricional más acorde con sus requerimientos. La presencia de una interacción genotipo-ambiente de signo negativo indica que carece de sentido generar por cruzamiento una población cuya potencialidad de crecimiento y su correlato a nivel reproductivo no puede expresarse por limitaciones atribuibles al ambiente.

Referencias

- Abeygunawardena, H y CMB Dematawewa (2004). «Pre-pubertal and postpartum anestrus in tropical Zebu cattle». En: *Animal Reproduction Science* 82, 373-387. Online: <https://bit.ly/2YJcZbE>.
- Arias, RA, TL Mader y PC Escobar (2008). «Factores climáticos que afectan el desempeño productivo del ganado bovino de carne y leche». En: *Archivos de medicina veterinaria* 40.1, 7-22. Online: <https://bit.ly/2yBzbtB>.
- Brown, Morton B y Alan B Forsythe (1974). «The small sample behavior of some statistics which test the equality of several means». En: *Technometrics* 16.1, 129-132. Online: <https://bit.ly/2Ko6ENK>.
- Calderón, RR y col. (1993). «Actividad ovárica en becerras Suizo Pardo y Cebú en clima tropical Af (c). I. Inicio de la pubertad y su correlación con la primera ovulación». En: *Memorias Reunión Nacional de Investigación Pecuaria, INIFAP, Jalisco*.
- D'Agostino, Ralph y Egon S Pearson (1973). «Tests for departure from normality. Empirical results for the distributions of b_2 and $\sqrt{b_1}$ ». En: *Biometrika* 60.3, 613-622. Online: <https://bit.ly/2YJcZbE>.
- González-Stagnaro, Carlos y col. (2007). «Primer servicio en novillas de doble propósito». En: *Revista Científica* 17.1, 39-46. Online: <https://bit.ly/2YGerzx>.
- Grajales, H, A Hernández y E Prieto (2006). «Edad y peso a la pubertad y su relación con la eficiencia reproductiva de grupos raciales bovinos en el trópico colombiano». En: *Livestock Research for Rural Development* 18.10, 1-25. Online: <https://bit.ly/2U7wVmS>.
- Leonard, I. (2015). «Recursos forrajeros autóctonos y promisorios para la ganadería en la provincia de Pastaza. Retos y posibilidades para una ganadería sostenible en la provincia de Pastaza de la Amazonia Ecuatoriana». En: *Universidad Estatal Amazónica. Cap. IV*, págs. 46-69.
- Lesosky, Maia y col. (2013). «A live weight-heart girth relationship for accurate dosing of east African shorthorn zebu cattle». En: *Tropical Animal Health and Production* 45.1, 311-316. Online: <https://bit.ly/2Kgv9O9>.
- Lukuyu, Margaret N y col. (2016). «Use of body linear measurements to estimate liveweight of crossbred dairy cattle in smallholder farms in Kenya». En: *SpringerPlus* 5.1, 63. Online: <https://bit.ly/2ZuwQwF>.
- Madalena, F. E. (2012). «Animal breeding and development-South American perspective». En: *Journal of Animal Breeding and Genetics* 129.3, 171-172. Online: <https://bit.ly/2ODeFDP>.
- Marulanda, E (1996). «Evaluación de la edad al primer servicio y su incidencia en la productividad y reproducción de novillas Cebú». En: *Revista El Cebú* 287. Online: <https://bit.ly/2Kgvqk2>.
- Morales D., Pérez B. Botero R. (2009). *Parámetros productivos y reproductivos de importancia económica en ganadería bovina tropical*.
- Motta, Delgado y col. (2012). «Productive and reproductive performance of F1 Gyr x Holstein cows in Colombian warm climate». En: *Veterinaria y Zootecnia* 6.1, págs. 17-23.
- Navarrete, M. (1995). «Análisis de productividad de diferentes cruzamientos en doble propósito. Experiencias en la costa norte colombiana». En: *Estrategias de mejoramiento genético en la producción bovina tropical*. Memorias seminario internacional. Medellín. Colombia, págs. 159-170.
- Nogueira, G. P. (2004). «Puberty in south american bos indicus (Zebu) cattle». En: *Animal reproduction science* 82, 361-372. Online: <https://bit.ly/2yG9vMF>.
- Quinteros-Pozo, R. y P.R. Marini (2017). «Evaluación productiva y reproductiva de cuatro genotipos lecheros en pastoreo libre en la Amazonía ecuatoriana». En: *Revista veterinaria* 28.1, 9-13. Online: <https://bit.ly/2yCt7ky>.
- Quinteros, O. R. y col. (2015). «Live Body Weight Evaluation of Four Genotypes of Dairy Heifers under Free Grazing Conditions in Ecuador». En: *Asian Journal of Agriculture and Food Sciences* 3.3, págs. 273 -281.

- Rocha, Marta Gomes da y José Fernando Piva Lobato (2002). «Avaliação do desempenho reprodutivo de novilhas de corte primíparas aos dois anos de idade». En: *Revista brasileira de zootecnia*. 31.3, 1388-1395. online: <https://bit.ly/2Kgwnc6>.
- Sánchez, T.A. (2010). *Análisis técnico económico del intervalo entre partos de bovinos*. Inf. téc. Medellín, Colombia.: AFAGRO LTDA. Online: <https://bit.ly/2T5r0iX>.
- Tewolde, A. (1993). «El estado actual de los recursos genéticos animales en América Latina». En: *Memoria Simposio sobre los Recursos Genéticos animales en América Latina*, págs. 11-18.
- Wathes, D. C. y col. (2014). «Heifer fertility and carry over consequences for life time production in dairy and beef cattle». En: *Animal* 8.1, 91-104. Online: <https://bit.ly/2ZuCZJf>.
- Zambrano-Sepúlveda, Ramón Alfonso y col. (2014). «Evaluación de la vida productiva de un rebaño bovino mestizo doble propósito, utilizando análisis de supervivencia». En: *Revista Científica* 24.6, 535-542. Online: <https://bit.ly/2yzS3cG>.
- Zambrano, R. y R. Contreras (2014). «Descarte, vida productiva y selección en rebaños Doble Propósito». En: *Logros Desafíos de la Ganadería Doble Propósito*. C. González-Stagnaro, N. Madrid-Bury, E. Soto-Belloso (Eds.). Fundación GIRARZ. Ediciones Astro Data SA Maracaibo, Venezuela. 16, págs. 157-164.



ASOCIACIÓN ENTRE LA MASTITIS SUBCLÍNICA CON LA PÉRDIDA TEMPRANA DE GESTACIÓN EN UN HATO DE VACAS LECHERAS

ASSOCIATION BETWEEN SUBCLINICAL MASTITIS WITH EARLY LOSS OF GESTATION IN A DAIRY COW HERD

Santiago Miranda*^{1,2} , Christian Albuja³  y Humberto Tríbulo^{1,2} 

¹ Instituto de Reproducción Animal Córdoba (IRAC), Paraje Pozo del Tigre, Zona General Paz, Córdoba, Argentina

² Universidad Nacional de Córdoba, Escuela Universitaria, Av. Ing. Félix A. Marrone N° 735, Córdoba, Argentina

³ Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Central del Ecuador, Jerónimo Leiton y Gato Sobral, Quito, Ecuador

*Autor para correspondencia: xavierbohorquez9@hotmail.com

Manuscrito recibido el 4 de abril de 2019. Aceptado, tras revisión, el 13 de agosto de 2019. Publicado el 1 de septiembre de 2019.

Resumen

El objetivo del presente estudio fue evaluar la asociación entre los diferentes grados de mastitis subclínica con la pérdida temprana de gestación durante los primeros 90 días posteriores al servicio en vacas lecheras Holstein. La investigación se realizó en una explotación lechera ubicada en Ecuador, provincia de Pichincha, cantón Mejía. Para el estudio se analizaron los datos de 619 vacas durante el período de octubre de 2015 hasta octubre de 2016. Se utilizaron tres grupos experimentales clasificados por la severidad de mastitis subclínica diagnosticada por California Mastitis Test (CMT). El Grupo control (CMT 0) vacas que no presentaron mastitis subclínica hasta los 90 días posteriores a la inseminación artificial (IA). El grupo CMT T-1, vacas diagnosticadas con mastitis subclínica grado trazas y grado 1 hasta los 90 días posteriores a la IA y el grupo CMT 2-3, vacas que presentaron mastitis subclínica grado 2 y 3 hasta los 90 días posteriores a la IA. El diagnóstico de gestación se realizó por ultrasonografía transrectal entre los 28 y 35 días posteriores a la IA y se realizó un seguimiento ecográfico a los 60 y 90 días de gestación. Se encontró una pérdida de gestación entre los 30 a 60 días del 12% y entre los 60 a 90 días del 5%. Con este resultado se evidenció una asociación entre mastitis subclínica grado 2 y 3 con la pérdida temprana de gestación (OR 2,6; $p < 0,01$). Se postula que un proceso infeccioso en la ubre posterior a la IA desencadenaría la liberación de mediadores inflamatorios como la prostaglandina $F2\alpha$ que ocasionaría lisis del cuerpo lúteo y pérdida de la gestación. En conclusión, las vacas que tienen mastitis subclínica de grado 2 y 3 tienen mayor riesgo de pérdida de gestación durante los primeros 90 días posteriores al servicio.

Palabras clave: Bovinos, gestación, luteólisis, mastitis, subclínica.

Abstract

The objective of this research was to evaluate the relationship between different levels of subclinical mastitis with the early gestation lost during the first 90 post-insemination days in Holstein dairy cattle. The research was made on a dairy farm located in Mejía, Pichincha Province, Ecuador. This research analyzed data from a sample of 619 cows during one year since October 2015 until 2016. Three experimental groups graded by the severity of subclinical mastitis and diagnosed by California Mastitis Test (CMT) were used. The control group (CMT 0), formed by cows that did not present any subclinical mastitis until 90 post-insemination days. The CMT T-1 group, formed by cows diagnosed with subclinical mastitis grade 1 up to 90 post-insemination days and the CMT 2-3 group, cows that presented subclinical mastitis grade 2 and 3 up to 90 post-insemination days. The pregnancy diagnosis was made by transrectal ultrasonography between 28 and 35 post-insemination days and a follow up ultrasound was performed at 60 and 90 days of gestation. A pregnancy loss of 12 % was found between 30 to 60 and 5 % between 60 to 90 days. With this result a relationship between subclinical mastitis grade 2 and 3 with early pregnancy loss was evidenced (OR 2.6, $p < 0.01$). It is postulated that an infectious process in the udder after the insemination can induce the release of inflammatory mediators such as prostaglandin $F2\alpha$ that would cause lysis of the corpus luteum and loss of gestation. In conclusion, dairy cattle presenting subclinical mastitis grade 2 and 3 have a higher risk of pregnancy loss during the first 90 post-insemination days.

Keywords: Cattle, gestation, luteolysis, mastitis, subclinical.

Forma sugerida de citar: Miranda, S., Albuja, C. y Tríbulo, H. (2019). Asociación entre la mastitis subclínica con la pérdida temprana de gestación en un hato de vacas lecheras. *La Granja: Revista de Ciencias de la Vida*. Vol. 30(2):48-56. <http://doi.org/10.17163/lgr.n30.2019.05>.

IDs Orcid:

Santiago Miranda: <https://orcid.org/0000-0001-5160-8401>

Christian Albuja: <https://orcid.org/0000-0002-8457-206X>

Humberto Raúl Tríbulo: <https://orcid.org/0000-0001-7709-7777>

1 Introducción

La mastitis en los bovinos es la enfermedad infecciosa contagiosa de la ubre, en la cual se produce un proceso inflamatorio por invasión a través del canal del pezón de diferentes tipos de bacterias, micoplasmas, hongos, levaduras y algunos virus. Las bacterias de los géneros *Streptococcus*, *Staphylococcus*, *Corynebacterium* y algunos gérmenes Gram- son responsables de más del 90% de las infecciones clínicas y subclínicas. Es la enfermedad más común y costosa que afecta al ganado bovino lechero; hay numerosos estudios que indican la importancia de la enfermedad, principalmente por ocasionar pérdidas económicas y riesgos en la salud pública (Philpot y Nickerson, 2002).

Su impacto principalmente es sobre el volumen y calidad de la producción, el bienestar animal y la reproducción del hato (Hillerton y Berry, 2005). La rentabilidad en la industria lechera depende de entre varios factores de la eficiencia reproductiva. La tasa de concepción, la tasa de detección de celo y la pérdida de gestación están entre los principales factores que determinan la eficiencia reproductiva en hatos lecheros. Sin embargo, la pérdida de gestación puede tener efectos perjudiciales en el éxito económico de los hatos lecheros. Se estima que por cada pérdida de gestación hay una pérdida promedio de USD \$ 640 (Thurmond, Picanso y Jameson, 1990).

Los costos de la mastitis están asociados principalmente a la pérdida de leche, al aumento de las tasas de descarte y a los costos de los tratamientos. Sin embargo, esta enfermedad también afecta indirectamente el desempeño reproductivo en vacas lecheras mediante la alteración de los intervalos interestros, al acortamiento de la fase lútea (luteólisis prematura) y a las pérdidas de gestación (Moore y col., 1991).

Varios estudios han encontrado que la multiplicación bacteriana, la liberación de endotoxinas y las exotoxinas están implicadas en la liberación de mediadores inflamatorios, los cuales podrían provocar una luteólisis (Riollet, Rainard y Poutrel, 2001). Se ha comprobado que los mediadores inflamatorios como las prostaglandinas, histamina leucotrienos y serotonina aumentan los casos de mastitis inducida experimentalmente por medio de infusiones intravenosas de endotoxinas de lipopolisacáridos

(LPS) o por infusiones intramamarias de endotoxina de *Escherichia coli* o de *Salmonella typhimurium* (Blum y col., 2000; Waller, Colditz y Östensson, 2003). Además, existen estudios que han demostrado la síntesis de concentraciones luteolíticas de prostaglandinas después de una infusión de endotoxinas o una septicemia por Gram-negativos. La endotoxina de la *Salmonella enteritidis* intravenosa produce aborto en ratones. Risco, Donovan y Hernandez, (1999) concluyó que el uso de endotoxinas bacterianas causa signos clínicos dosis-dependiente, variando de fiebres transitoria a abortos 24 a 48 horas posteriores al desafío intravenoso.

La mastitis causada por bacterias Gram negativas puede ocasionar bacteriemia en más del 30% de los casos en las vacas afectadas (Wenz y col., 2001). Con respecto a las bacterias Gram positivas, su pared celular está compuesta de muchas capas de mucopeptido peptidoglicano, no tienen endotoxina, pero su presencia en la glándula mamaria provoca una respuesta inflamatoria que es idéntica a la causada por las endotoxinas de las bacterias Gram negativas (Salyers y Whitt, 1994). Por lo tanto, es clara la información que evidencia la influencia de la mastitis sobre las tasas de concepción, mortalidad embrionaria temprana y abortos (Risco, Donovan y Hernandez, 1999; Barker y col., 1988).

2 Materiales y métodos

Los experimentos se realizaron en una ganadería privada que se dedica a la producción de leche bajo un sistema de producción semi-intensivo. Se encuentra ubicada en Ecuador, en la provincia de Pichincha, cantón Mejía, parroquia Tambillo; la hacienda está a una altitud de 2827 msnm, existe una temperatura media entre 10 y 25 °C y una pluviosidad de 1157 mm anuales.

2.1 Factores de estudio

La explotación ganadera cuenta con un promedio de 500 vacas de raza Holstein en ordeño, con una producción media de 24 litros vaca/día. Para el ensayo se analizaron los datos de 619 vacas. El periodo de estudio fue realizado durante los meses de octubre del año 2015 hasta diciembre del 2016. Se consideraron vacas en lactación que recibieron alta médica posterior al parto, bovinos que pasaron el

período de espera voluntario de 60 días y que estaban en condiciones de ser inseminadas. Las vacas que presentaron mastitis clínica mediante la prueba de CMT no fueron consideradas en este estudio debido a que recibieron un tratamiento en base de antiinflamatorios y antibióticos para controlar la infección de la ubre.

El diagnóstico de mastitis subclínica fue realizado por el Médico Veterinario de la finca ganadera, utilizando la prueba de campo CMT al grupo de vacas en producción una vez por mes durante el tiempo que duro la investigación. El protocolo para aplicar la prueba fue el siguiente:

Para evitar falsos positivos se realizó el descarte de los primeros chorros de leche de cada pezón, posteriormente se ordeñó en la paleta 2 ml de leche, se añadió una cantidad equivalente de reactivo, se agitó para mezclar la leche con el reactivo y se realizó la lectura: negativo, traza, uno, dos, tres (Zurita, 1982). La prueba de CMT es una herramienta diagnóstica de campo cuyo fundamento consiste en que el detergente rompe las células (lisador) y deja salir su ADN fuera de la membrana celular, estos filamentos de ADN tienen tendencia a formar unas estructuras tipo gel cuando se unen unos con otros (Philpot y Nickerson, 2002). El grado más elevado de inflamación se caracteriza por liberar una mayor concentración de ADN, por lo tanto, el resultado y la interpretación será una reacción tipo gelatina (Smith, 1990; Saran y Chaffer, 2000; Medina y Montaldo, 2003).

Para la interpretación del grado de mastitis subclínica se utilizó la clasificación realizada por Ruíz, (1996):

- Negativo: No hay precipitado por lo tanto no hay infección.
- Trazas (T): Existe ligera precipitación que desaparece al agitar, se forma un velo en el pocillo de la paleta.
- Grado 1: Existe una ligera agitación con algunos filamentos grumosos, al mover la paleta por unos 20 segundos los grumos tienden a

desaparecer, presenta una apariencia de gelatina ligera.

- Grado 2: Toma la apariencia de una clara de huevo, toma consistencia de moco y cae el precipitado en el pocillo de forma lenta, este grado corresponde a una infección seria.
- Grado 3: La reacción tiene una consistencia de coagulo que se queda adherido a la paleta, cae muy lento y este no pierde la forma a pesar de la agitación, este grado corresponde a una infección seria.

2.2 Diagnóstico de gestación

El diagnóstico de gestación fue realizado por un médico veterinario ginecólogo utilizando ultrasonografía transrectal (Mindray DP-10 VET con transductor de 8.5 mHz) entre los 28 y 35 días post inseminación. El seguimiento de la gestación se realizó en dos ocasiones alrededor de los 60 y 90 días de gestación.

2.3 Grupos Experimentales

2.3.1 Grupo Control

Vacas que fueron diagnosticadas como preñadas a los 30 días posteriores al servicio y que no presentaron mastitis mediante la prueba de CMT hasta los 90 días posteriores a la inseminación artificial (IA).

2.3.2 Grupo 1

Vacas que fueron diagnosticadas como preñadas a los 30 días posteriores al servicio y que presentaron mastitis subclínica grado trazas y mastitis subclínica grado 1 mediante la prueba de CMT hasta los 90 días posteriores a la IA.

2.3.3 Grupo 2

Vacas que fueron diagnosticadas como preñadas a los 30 días posteriores del servicio y que presentaron mastitis subclínica grado 2 y mastitis subclínica grado 3 mediante la prueba de CMT hasta los 90 días posteriores a la IA.

Tabla 1. Odds Ratio (OR) y p valor de los distintos grados de mastitis subclínica.

Grado de Mastitis	N	Vacas con pérdida de gestación	Vacas que mantienen la gestación	OR	p valor
0	309	44	265	referencia	
T	130	14	116	0,72	>0,01
1	77	14	63	1,38	>0,01
2	48	13	35	2,24	<0,05
3	55	18	37	2,93	<0,01

Los grados de mastitis se indican mediante 0: Negativo, T: Trazas, 1: Mastitis subclínica grado 1, 2: Mastitis subclínica grado 2, 3: Mastitis subclínica grado 3. OR representa la tasa reproductiva base.

2.4 Análisis estadístico

Para determinar la asociación entre la variable pérdida embrionaria y fetal en vacas lecheras Holstein durante los primeros 90 días de gestación con el factor de exposición presencia de mastitis subclínica, se realizó la prueba Odds Ratio (OR) en el grupo 1 y en el grupo 2, y el nivel de significancia se analizó mediante la prueba de Chi cuadrado. La razón de oportunidades o razón de probabilidades es una medida estadística utilizada en estudios epidemiológicos transversales, de casos y controles, así como en los metaanálisis. Se define como la posibilidad de que una condición de salud o enfermedad se presente en un grupo de población animal frente al riesgo de que ocurra en otro.

3 Resultados

El OR para el grupo 1 fue de 0,94, y al realizar la prueba de Chi cuadrado se concluyó que no hubo asociación significativa entre la presencia de mastitis subclínica grado trazas y grado 1 con la pérdida de gestación. El OR para el grupo 2 fue de 2,6 y al realizar la prueba de Chi cuadrado se concluyó que hubo asociación altamente significativa entre la presencia de mastitis subclínica grado 2 y grado 3 con la pérdida de gestación ($P < 0,01$).

En la Tabla 1 se muestran los resultados de la puntuación de los distintos grados de mastitis subclínica con los resultados de la prueba de OR y Chi cuadrado, en la cual se concluye que las vacas con mastitis grado 2 tienen un riesgo de 2,24 veces más de tener una pérdida de gestación en comparación con las vacas que no presentan mastitis durante los primeros 90 días post inseminación, mientras que las vacas con mastitis grado 3 tienen un riesgo de 2,93 veces más de tener una pérdida de gestación en comparación con las vacas que no presentan mastitis durante los primeros 90 días post inseminación.

3.1 Tasa de pérdida de gestación

La mortalidad embrionaria en bovinos se refiere a las pérdidas que ocurren durante los primeros 45 días de gestación que coincide con la finalización del período de diferenciación del embrión. Las pérdidas embrionarias a su vez pueden ser clasificadas en mortalidad embrionaria temprana cuando ocurren dentro de los 25 días, y mortalidad embrionaria tardía entre los 25 y 45 días (Humblot, 2001). Los términos muerte fetal o aborto se refieren a las pérdidas que ocurren entre los 45 y los 260 días de gestación. En la Tabla 2 se muestran los resultados del número de vacas que perdieron la gestación y que presentaron mastitis subclínica durante los primeros 90 días post inseminación. De un total de 103 vacas que perdieron la gestación, 31 vacas tuvieron cierto grado de infección en la ubre lo que posiblemente ocasionó la muerte embrionaria y fetal. El mayor porcentaje de pérdida de gestación se presentó en vacas con mastitis subclínica grado 3. La mayor cantidad de muertes embrionarias y fatales ocurrió entre el día 30 a 60 post inseminación con un porcentaje del 12%, mientras que entre los días 61 a 90 se registró 5% de muerte fetal. Durante los primeros 90 días post inseminación hay una pérdida embrionaria y fetal total del 17%, según se muestra en la Figura 1.

Dentro del grupo de vacas que perdieron la gestación ocasionada por mastitis subclínica grado 2 entre los 30 a 60 días, el 89% de vacas perdió la gestación en este período, mientras que las vacas que tuvieron mastitis subclínica grado 2 entre los 61 y 90 días, el 50% de las vacas perdieron la gestación. En el grupo de vacas que perdieron la gestación ocasionada por mastitis subclínica grado 3 entre los 30 a 60 días, el 67% de vacas perdió la gestación en este período, mientras que las vacas que tuvieron mastitis subclínica grado 3 entre los 61 y 90 días el 17% de vacas perdieron la gestación.

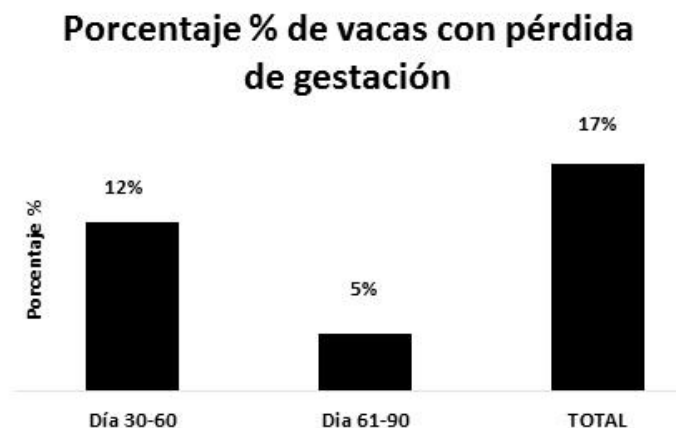


Figura 1. Porcentaje (%) de pérdidas embrionarias y fetales entre los días 30-60 y 61-90 post inseminación en vacas lecheras Holstein.

4 Discusión

Los resultados obtenidos en esta investigación confirman la hipótesis planteada, es decir, que existe asociación entre la mastitis subclínica grado 2 y 3 con la pérdida de gestación temprana durante los primeros 90 días de gestación en vacas lecheras Holstein.

En el grupo CMT 2-3 se encontró una asociación con la pérdida de gestación durante los primeros 90 días (OR = 2,6). La pérdida de gestación evidenciada en

este grupo podría estar causada por la regresión lútea inducida por la liberación de citoquinas como la prostaglandina $F2\alpha$, $TNF-\alpha$, $INF-\gamma$ y/o el efecto de endotoxinas, como el LPS (lipopolisacárido) y exotoxinas bacterianas sobre el ovario, el útero y/o el embrión (Hansen, Paoletti y Natzke, 2004; Hertl y col., 2014). La mortalidad embrionaria es considerada la principal causa responsable del aumento en el intervalo entre partos en los bovinos (Thatcher y col., 1994; Vanroose, Kruif y Van Soom, 2000; Sreenan, Diskin y Morris, 2001).

Tabla 2. Porcentaje (%) de vacas con pérdida de gestación según los grados de mastitis en vacas lecheras Holstein durante los primeros 90 días post inseminación.

Grado de Mastitis	N	Vacas con pérdida de gestación
0	309	44 (14 %)
T	130	14 (11 %)
1	77	14 (18 %)
2	48	13 (27 %)
3	55	18 (33 %)
Total	619	103 (17 %)

Los grados de mastitis se indican mediante 0: Negativo, T: Trazas, 1: Mastitis subclínica grado 1, 2: Mastitis subclínica grado 2, 3: Mastitis subclínica grado 3. OR representa la tasa reproductiva base.

Los resultados de la asociación de vacas del grupo CMT 2-3 con la pérdida de gestación coinciden con el estudio de Moore y col., (2005), en el cual se analizó la asociación entre mastitis subclínica y el mantenimiento de la gestación. Las vacas que

experimentaron mastitis subclínica inmediatamente (LSCC >4.5) antes de la IA tenían 2,4 veces más riesgo de perder la gestación entre 28 y 35 días después de la IA en comparación con las vacas que tenían un recuento lineal células somáticas menor a

4,5 (LSCC <4.5; (Moore y col., 2005)).

En este estudio la pérdida general de la gestación entre los 30 a 60 días fue del 12% y entre los 61 a 90 días fue del 5%. Las pérdidas reproductivas en vacas lecheras en lactación han aumentado en los últimos años (Lucy, 2001). Varios investigadores han logrado caracterizar el momento y el alcance de las pérdidas embrionarias tardías en el ganado mediante la ultrasonografía y otros métodos para el diagnóstico precoz de la preñez. Humblot

(2001) evaluó las pérdidas embrionarias en vacas Holstein en 44 rebaños en Francia y observó que la muerte embrionaria temprana y tardía después de la primera IA fue 31,6 y 14,7%, respectivamente. La muerte embrionaria tardía después del día 27 de gestación varió del 3,2% en vacas lecheras que producen 6000-8000 kg de leche por año en Irlanda (Silke y col., 2002) hasta al 42,7% en vacas de alta producción bajo estrés por calor (Cartmill y col., 2001).

Tabla 3. Número de vacas que pierden la gestación entre los días 30-60 y 61-90 post inseminación con distintos grados de mastitis subclínica y ausencia de mastitis en vacas lecheras.

Grado de Mastitis	Día 30-60	Porcentaje	Día 61-90	Porcentaje
0	34/309	11.00 %	10/275	4.00 %
T	11/130	9.00 %	3/119	3.00 %
1	1977-11-01	14.00 %	1966-03-01	5.00 %
2	1948-09-01	19.00 %	abr-39	10.00 %
3	dic-55	22.00 %	1943-06-01	14.00 %

Los grados de mastitis se indican mediante 0: Negativo, T: Trazas, 1: Mastitis subclínica grado 1, 2: Mastitis subclínica grado 2, 3: Mastitis subclínica grado 3. OR representa la tasa reproductiva base.

Estos resultados coinciden con el estudio que realizó McDougall, Rhodes y Verkerk, (2005), en el cual se evidenció la preponderancia y los factores de riesgo relacionados con las pérdidas de gestación en vacas lecheras en lactancia alimentadas a pastura en Nueva Zelanda. Un total de 2004 vacas gestantes participaron en el estudio y 128 animales (6,4%) perdieron la gestación. La tasa de pérdida de preñez fue mayor entre las semanas 6 a 10 de gestación que entre las semanas 10 a 14. De igual forma Santos y col., (2004) resumieron información de varios estudios y concluyeron que el riesgo de pérdida de preñez era mucho mayor al comienzo de la gestación que hacia el final.

5 Conclusiones

Los resultados de los experimentos confirman la asociación entre mastitis subclínica grado 2 y grado 3 con la pérdida temprana de gestación durante los primeros 90 días de gestación en vacas lecheras Holstein en lactación. La pérdida de gestación fue mayor entre los 30 a 60 días que entre los 61 a 90 días de gestación.

Se determinó que las vacas que tienen mastitis subclínica grado 2 y 3 tienen 2,24 y 2,93, respectivamente, más probabilidades de perder la gestación durante los primeros 90 días post inseminación. La pérdida de gestación general entre los 30 a 60 días fue del 12% y entre los 61 a 90 días fue del 5%.

Referencias

- Barker, A. y col. (1988). «Influence of clinical mastitis during early lactation on reproductive performance of jersey cows». En: *Journal of Dairy Science* 81.5, 1285-1290. Online: <https://bit.ly/301SPLv>.
- Blum, J. W. y col. (2000). «Tumor necrosis factor- α and nitrite/nitrate responses during acute mastitis induced by *Escherichia coli* infection and endotoxin in dairy cows.» En: *Domestic Animal Endocrinology* 19.4, 223-235. Online: <https://bit.ly/2N0ua6h>.
- Cartmill, J. A. y col. (2001). «Stage of cycle, incidence and timing of ovulation, and pregnancy rates in dairy cattle after three timed breeding proto-

- cols». En: *Journal of Dairy Science* 84.5, 1051-1059. Online: <https://bit.ly/2Z1U0xi>.
- Hansen, P. J., S. Paoletti y R. P. Natzke (2004). «Mastitis and fertility in cattle – Possible involvement of inflammation or immune activation in embryonic mortality». En: *American Journal of Reproductive Immunology* 51, 294-301. Online: <https://bit.ly/2MgGGPz>.
- Hertl, J. A. y col. (2014). «Effects of pathogen-specific clinical mastitis on probability of conception in Holstein dairy cows». En: *Dairy Science* 97.11, 6942-6954. Online: <https://bit.ly/2H7yjBL>.
- Hillerton, J.E. y E.A. Berry (2005). «Treating mastitis in the cow a tradition or an archaism». En: *Journal of Applied Microbiology* 98, 1250-1255. Online: <https://bit.ly/33ukR4u>.
- Humblot, P. (2001). «Use of pregnancy specific proteins and progesterone assays to monitor pregnancy and determine the timing, frequencies and sources of embryonic mortality in ruminants». En: *Theriogenology* 56.9, 1417-1433. Online: <https://bit.ly/2ZYUuSd>.
- Lucy, M. C. (2001). «Reproductive loss in high-producing dairy cattle: where will it end?». En: *Journal of Dairy Science* 84.6, 1277-1293. Online: <https://bit.ly/2MdBnjX>.
- McDougall, S., F.M. Rhodes y G.A. Verkerk (2005). «Pregnancy loss in dairy cattle in the Waikato region of New Zealand». En: *New Zealand Veterinary Journal* 53.5, 279-287. Online: <https://bit.ly/2OVUG3r>.
- Medina, C. M. y V.H. Montaldo (2003). «El uso de la prueba de conductividad eléctrica y su relación con la prueba de California para mastitis». En: *V Congreso Nacional de Control de Mastitis*. Ed. por CNM. Aguascalientes-México.
- Moore, D. A. y col. (1991). «Preliminary field evidence for the association of clinical mastitis with altered interestrus intervals in dairy cattle». En: *Theriogenology* 36.2, 257-265. Online: <https://bit.ly/2H5oXqd>.
- Moore, D. A. y col. (2005). «Evaluation of factors that affect embryonic loss in dairy cattle». En: *Journal of the American Veterinary Medical Association* 226.7, 1112-1118. Online: <https://bit.ly/2N0DMY4>.
- Philpot, W. y S. Nickerson (2002). *Vencendo a Luta Contra a Mastite*. Ed. por Milkbuzz. Edição Brasileira. pp 6-9, 15-17, 22-27, 38-43. Westfalia Surge Inc. e Westfalia Landtechnik do Brasil Ltda.
- Riollet, C., P. Rainard y B. Poutrel (2001). «Cell subpopulations and cytokine expression in cow-milk in response to chronic *Staphylococcus aureus* infection». En: *Journal of Dairy Science* 84.5, 1077-1084. Online: <https://bit.ly/2Ky3VCH>.
- Risco, C.A., G.A. Donovan y J. Hernandez (1999). «Clinical Mastitis Associated with Abortion in Dairy Cows». En: *Journal of Dairy Science* 82.8, 1684-1689. Online: <https://bit.ly/2yVAVHV>.
- Ruiz, S. (1996). «Presencia de mastitis subclínica en ocho hatos de la periferia de Uruapán, Michoacán, en bovinos productores de leche». Tesis de maestría. Michoacán, México. pp 35-38.: Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia.
- Salyers, A. A. y D. D. Whitt (1994). *Bacterial Pathogenesis A Molecular Approach*. Washington D.C. Pages 56 y 341: ASM Press.
- Santos, J. E. P. y col. (2004). «Effect of timing of first clinical mastitis occurrence on lactational and reproductive performance of Holstein dairy cows». En: *Animal Reproduction Science* 80.1, 31-45. Online: <https://bit.ly/2Z6bBQC>.
- Saran, A. y M. Chaffer (2000). *Mastitis y calidad de leche*. Inf. téc. Buenos Aires-Argentina. 194 pp.: Inter-Médica.
- Silke, V. y col. (2002). «Extent, pattern and factors associated with late embryonic losses in dairy cows». En: *Animal Reproduction Science* 71.1, 1-12. Online: <https://bit.ly/33xDFju>.
- Smith, B. P. (1990). *Large Animal Internal Medicine The C. V. St Louis, Missouri*. Online: <https://amzn.to/2Kzqgjr>: The C. V. Mosby Co.
- Sreenan, J. M., M. G. Diskin y D. G. Morris (2001). «Embryo survival rate in cattle: a major limitation to the achievement of high fertility. In: Fertility in the high producing dairy cow». En: *BSAP Occasional Publication* 26.1, 93-104. Online: <https://bit.ly/2H4qbCb>.
- Thatcher, W. W. y col. (1994). «Embryo Health and Mortality in Sheep and Cattle». En: *Journal of Animal Science* 72.suppl3, 16-30. Online: <https://bit.ly/2OQT2jw>.
- Thurmond, M. C., J. P. Picanso y C. M. Jameson (1990). «Considerations for use of descriptive epidemiology to investigate fetal losses in dairy cows». En: *Journal of the American Veterinary Medical Association* 197.10, 1305-1312. Online: <https://bit.ly/33ukdny>.
- Vanroose, G., A. de Kruif y A. Van Soom (2000). «Embryonic mortality and embryo-pathogen in-

- teractions». En: *Animal Reproduction Science* 60, 131-143. Online: <https://bit.ly/300BNNN>.
- Waller, K. P., I. G. Colditz y K. Östensson (2003). «Cytokines in mammary lymph and milk during endotoxin-induced bovine mastitis». En: *Research in Veterinary Science* 74.1, 31-36. Online: <https://bit.ly/2KzAOPA>.
- Wenz, J. R. y col. (2001). «Bacteremia associated with naturally occurring acute coliform mastitis dairy cows». En: *Journal of the American Veterinary Medical Association* 219.7, 976-981. Online: <https://bit.ly/2OSSaeg>.
- Zurita, L. (1982). «Mastitis bovina con especial énfasis en la realidad nacional». Tesis de mtría. Facultad de Ciencias Agrarias, Veterinarias y Forestales Universidad de Chile.



REGIONALIZACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN, SU AGRESIVIDAD Y CONCENTRACIÓN EN LA CUENCA DEL RÍO GUAYAS, ECUADOR

REGIONALIZATION OF PRECIPITATION, ITS AGGRESSIVENESS AND CONCENTRATION IN THE GUAYAS RIVER BASIN, ECUADOR

Mercy Ilbay-Yupa*¹ , Ricardo Zubieta Barragán² y Waldo Lavado-Casimiro³

¹ Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales, Universidad Técnica de Cotopaxi, Av Simón Rodríguez, Latacunga, Ecuador

² Departamento de Ciencias de la Atmósfera e Hidrósfera, Instituto Geofísico del Perú, Av. Badajoz 169, Ate 15012, Lima, Perú

³ Programa de Doctorado en Recursos Hídricos, Universidad Nacional Agraria La Molina, La Molina 15024 Lima, Perú

*Autor para correspondencia: mercy.ilbay@utc.edu.ec

Manuscrito recibido el 6 de junio de 2019. Aceptado, tras revisión, el 12 de agosto de 2019. Publicado el 1 de septiembre de 2019.

Resumen

La agresividad de la lluvia contribuye a la erosividad del suelo en regiones de alta montaña, y por ende a la sedimentación en la parte baja de la cuenca. El conocimiento acerca de la agresividad de la lluvia en regiones costeras y andinas contribuye a la formulación de medidas de mitigación que influyen en la reducción de erosión y pérdida de nutrientes. Los índices Fournier, Fournier modificado y de concentración de precipitación proveen la capacidad de estimar la distribución espacial y temporal de la agresividad de la lluvia. Este estudio presenta un análisis de la lluvia mediante estos índices de agresividad en la cuenca del río Guayas ubicada en la costa y Andes ecuatoriales. Se seleccionaron datos mensuales registrados de 30 estaciones pluviométricas para el período 1968-2014. Se determinaron zonas homogéneas de precipitación mediante el método k-means. Los resultados indicaron dos regiones homogéneas predominantes, la primera ubicada al oeste en la zona costera y andina (85,2 % del área de la cuenca), con un índice de agresividad alto y muy alto; mientras que la distribución de la precipitación en la segunda región (Alta montaña) resultó de muy baja a baja agresividad. La mayor agresividad potencial de la lluvia le corresponde una mayor acumulación de precipitación promedio anual, lo que indica una alta influencia estacional de las lluvias, es decir, una mayor cantidad de lluvia puede precipitar en un número reducido de meses consecutivos. Los valores de concentración revelan un gradiente regional en dirección este-oeste que va de moderadamente a fuertemente estacional. El análisis de tendencias de la concentración de lluvia mensual no muestra cambios significativos en el período de estudio. No obstante, los hallazgos del presente estudio explican el porqué la región oeste y sur de la cuenca del río Guayas está expuesta a problemas de sedimentación en la parte baja, producto de la capacidad erosiva de la lluvia en la parte alta y media de la cuenca.

Palabras clave: Guayas, concentración, precipitación, agresividad, erosividad, Ecuador.

Abstract

The aggressiveness of rain contributes to the erosion of the soil in high mountain regions, and therefore to the sedimentation in the lower part of the watershed. To know about the aggressiveness of rain in coastal and Andean regions contributes to the formulation of mitigation measures that help to the reduction of erosion and loss of nutrients. Fournier indices, Modified Fournier and precipitation concentration provide the ability to estimate the spatial and temporal distribution of the aggressiveness of the rain. This study presents a spatial and temporal analysis of climatic aggressiveness in the Guayas river watershed located on the coast and the equatorial Andes. Registered monthly data of 30 rainfall stations for the period 1968-2014 was selected. Homogeneous precipitation zones were determined by the k-means method. The results indicated two predominant homogenous regions, the first located to the west in the coastal and Andean zone (85,2 % of the area of the Watershed), with a high and very high aggressiveness index, while the distribution of precipitation in the second region (High mountain) resulted from very low to low aggressiveness. The greater potential aggressiveness of rain corresponds to a greater accumulation of average annual rainfall, which indicates a high seasonal influence of rainfall, i.e., a greater amount of rainfall can precipitate in a reduced number of consecutive months. The concentration values reveal a regional gradient in the east-west direction, which goes from moderately to strongly seasonal. The trend analysis of the monthly rainfall concentration shows no significant changes in the study period. However, these findings explain why the western and southern region of the Guayas river watershed is exposed to sedimentation problems in the lower part, due to the erosive capacity of rain in the higher and middle part of the watershed.

Keywords: Guayas, concentration, precipitation, aggressiveness, erosivity, Ecuador.

Forma sugerida de citar: Ilbay-Yupa, M., Zubieta B., R. y Lavado-Casimiro, W. (2019). Regionalización de la precipitación, su agresividad y concentración en la Cuenca del río Guayas, Ecuador. *La Granja: Revista de Ciencias de la Vida*. Vol. 30(2):57-76. <http://doi.org/10.17163/lgr.n30.2019.06>.

IDs Orcid:

Mercy Ilbay-Yupa: <http://orcid.org/0000-0001-9503-2686>

Ricardo Zubieta Barragán: <https://orcid.org/0000-0002-4315-7695>

Waldo Lavado-Casimiro: <https://orcid.org/0000-0002-0051-0743>

1 Introducción

La erosividad de las precipitaciones provoca pérdidas de suelo fértil, daños a la infraestructura, agricultura y contaminación del agua, la cual está influenciada por los cambios en los patrones de precipitación (Martín-Fernández y Martínez-Núñez, 2011; Sanchez-Moreno, Mannaerts y Jetten, 2014); esto ocurre ya que grandes cantidades de lluvia estacional puede precipitar en muy pocos días o semanas en regiones de alta montaña como los Andes (Sarricolea, Araya y Salazar, 2014; Zubieta y col., 2016; Sarricolea y col., 2019), o regiones Amazónicas (Zubieta y col., 2019). La precipitación es una variable importante para estudios climáticos, cuya variabilidad espacial y temporal pueden impactar en las actividades humanas durante eventos hidroclimáticos extremos como sequías e inundaciones (Parracho, Melo-Gonçalves y Rocha, 2016). Además desempeña un papel crucial en la planificación y gestión de los recursos hídricos, vinculada directamente con la agricultura y la mitigación de desastres (Prakash y col., 2015). La cuantificación exacta de la precipitación sigue siendo un reto para muchas aplicaciones hidrológicas, especialmente en regiones con topografía compleja debido a efectos orográficos y pendiente en pequeña escala (Sevruk, 2004; Zubieta y col., 2015).

La agresividad de la lluvia puede causar impactos ambientales y es un factor clave para la ocurrencia de erosión de suelos, deslizamientos o inundaciones. Por lo tanto, los parámetros que evalúen la agresividad de la lluvia pueden ser considerados como un indicador ambiental apropiado (Gregori, Andrenelli y Zorn, 2006; García-Barrón, Morales y Sousa, 2018). La estimación de esta variable durante largos períodos es útil para la conservación del suelo, la planificación agrícola y el desarrollo de políticas ambientales. El factor R o erosividad de la lluvia es un instrumento aceptado para la medición de la erosión local y depende de la energía cinética de cada episodio de lluvia (Panagos y col., 2015). Este modelo es el más utilizado y fue desarrollado a una escala detallada en el sector agrícola; sin embargo, su aplicación a escala regional presenta limitaciones (Terranova y col., 2009). Las estimaciones de la erosión del suelo no se ajustan a las medidas empíricas de sedimentación y no incorpora el escurrimiento directo del agua (Kinnell, 2010). El factor R sobreestima la erosión a nivel regional o de cuen-

ca hidrográfica (Hernando y Romana, 2016) y no se recomienda en áreas donde no se realiza un proceso de validación. Además, para su estimación es conveniente utilizar registros de precipitaciones de alta frecuencia de estaciones meteorológicas durante un período superior a veinte años (Angulo-Martínez y col., 2009).

Por ello, se pueden utilizar modelos que miden los efectos de la agresividad de la lluvia, considerando registros de precipitaciones por hora (modelos de intensidad) o registros de precipitaciones mensuales (modelos de volumen). Este último modelo se refiere a las diferentes acumulaciones parciales de lluvia, sin tener en cuenta el número, la duración y la cantidad de lluvia de cada episodio, por lo que se basa exclusivamente en registros mensuales de precipitaciones disponibles en la mayoría de los países. Así, se puede utilizar el índice de agresividad en estudios ambientales (Fournier, 1960; Arnoldus, 1978; Oliver, 1980). Estos índices han sido ampliamente utilizados en estudios climáticos para identificar patrones espaciales de concentración de lluvia en regiones de Europa, Asia, África y Sudamérica tales como España (De Luis y col., 2011), Península Ibérica (García-Barrón, Morales y Sousa, 2018), India (Ballari y col., 2018), Bangladesh (Rasel, Islam y Keramat, 2016), Nigeria (Ezenwaji, Nzoiwu y Chima, 2017), Argentina (Besteiro y Delgado, 2011), Venezuela (Rey y col., 2012) y Chile (Sarricolea, Araya y Salazar, 2014; Valdés-Pineda y col., 2016). Los cambios en los patrones temporales de estos parámetros han sido identificados también en regiones de los Andes de Chile (Sarricolea y col., 2019).

La intensa erosión del suelo que se deriva del aumento de la intensidad de la lluvia es un problema crítico en muchas cuencas del mundo (Vrieling, Hoedjes y Velde, 2014; Mondal, Khare y Kundu, 2016). La cuenca de río Guayas (CRG), es la zona agrícola más fértil de Ecuador (Buckalew y col., 1998), y principal centro de producción de bienes agropecuarios. La distribución estacional y los totales anuales de precipitaciones son extremadamente irregulares, lo que ha provocado que la CRG se vea afectada por eventos de inundación y sequías, trayendo pérdidas económicas. Este es el caso de los años 1982 y 1983 que produjeron pérdidas estimadas de 3,18 % y 28,63 % del PIB, respectivamente (520 millones de dólares) (Egas, 1985). Mientras

que en 1997-98 se perdieron 5664 km^2 de producción agrícola (616,5 millones de dólares) (Corporación Andina de Fomento, 1998), causada por la marcada influencia del fenómeno de El Niño en la cuenca (Cadier y col., 1996); pero la zona de mayor afecta-

ción es la cuenca baja, debido a que periódicamente se encuentra sometida a inundaciones que pueden tener consecuencias catastróficas, agravadas por acciones humanas como la deforestación y erosión en las cabeceras de los ríos (Rossel, Caddier y G., 1996).

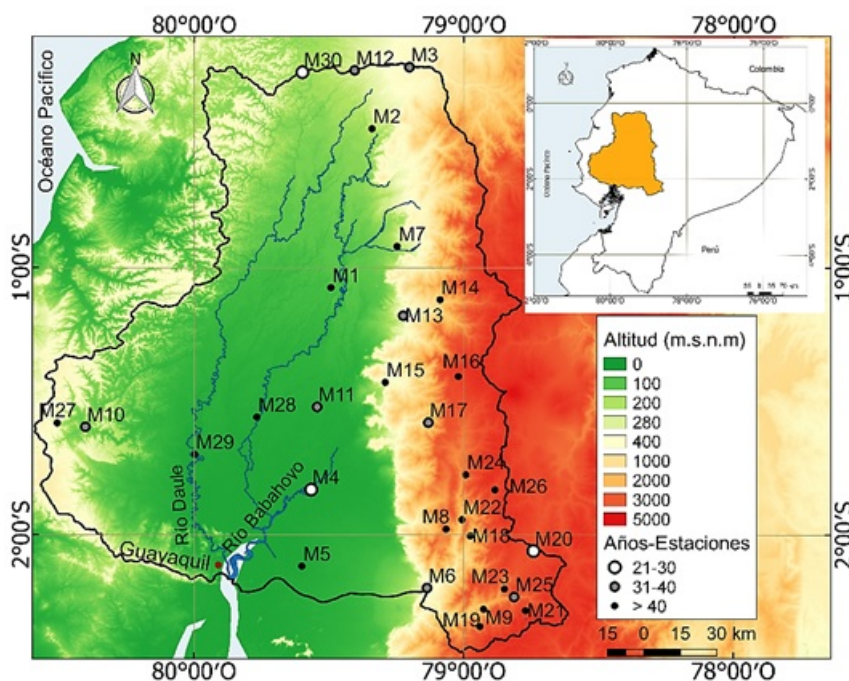


Figura 1. Localización de la cuenca del río Guayas, altitud, distribución de las 30 estaciones pluviométricas y años de estudio. El nombre de las estaciones se indica en la Tabla 1.

El río Guayas presenta problemas de sedimentación debido a la erosión de los suelos en la cuenca (Gobierno Provincial del Guayas, 2016), esto ha dado lugar a la formación de islotes en la unión del río Babahoyo y Daule (Figura 1), provocando erosión del cauce, deficiente drenaje e inundaciones frente a lluvias intensas, siendo este uno de los casos de inundaciones en la ciudad de Guayaquil (Figura 1) (Soledispa, 2002). Se ha recurrido a medidas como el dragado ante la acumulación de sedimentos que ascienden a 250 mil toneladas por año (Gobierno Provincial del Guayas, 2018). No obstante, no se ha estudiado la lluvia como factor de erosividad en regiones ecuatoriales como la CRG. El objetivo de esta investigación es (a) regionalizar la precipitación para un período prolongado de datos de precipitación mensual (1968-2014) y (b) estimar la agresividad y concentración de las precipitaciones en la CRG.

2 Materiales y métodos

2.1 Área de estudio

La CRG se ubica en la parte central oeste del Ecuador ($0^{\circ}14' \text{ a } 2^{\circ}27' \text{ S}$ y $78^{\circ}36' \text{ a } 80^{\circ}36' \text{ O}$) (Figura 1). El área se caracteriza por una gradiente altitudinal significativa que va hasta los 4000 msnm, con una superficie de 32890 km^2 , correspondiente al 13 % del Ecuador, y concentra $\approx 40 \%$ de la población del país (SENAGUA200). La CRG drena en el Golfo de Guayaquil, los principales ríos son el Daule y Babahoyo (Figura. 1) que se unen cerca de Guayaquil, la ciudad más grande de país Damanik-Ambarita2016. El río Guayas, el más grande de la costa occidental de Sudamérica, con un escurrimiento promedio anual de $1350 \text{ m}^3/\text{s}$ (Twilley y col., 2001), tiene un canal principal recto que se bifurca en una red de canales fluviales que recorren 30 km de manglares y plani-

cies de marea (Reynaud y col., 2018). Las principales actividades económicas en la CRG son agricultura, pesca y generación de energía hidroeléctrica. Las principales presiones ambientales sobre el ecosistemas de agua dulce son la contaminación por aguas residuales, agricultura, cambios en el uso de la tierra y dos represas hidroeléctricas (Thi Nguyen y col., 2015). En los últimos años se han incrementado los problemas de sedimentación fluvial en la parte baja de la cuenca, considerado uno de los factores que contribuyen al riesgo de inundación ante lluvias extremas. Esta sedimentación se percibe localmente como una consecuencia de las intervenciones llevadas a cabo en la cuenca superior y eventos naturales como El Niño (Barrera-Crespo y col., 2018). Los impactos de El Niño en esta cuenca han provocado inundaciones (erosión por lluvia, deslizamiento y deslaves), contaminación del agua po-

table, daños a la infraestructura y al sector agropecuario (Corporación Andina de Fomento, 1998).

2.2 Datos

Se recopilaron registros de precipitación de 250 estaciones meteorológicas provenientes del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), cada una de ellas con diferentes períodos entre 1962 y 2016. Con el fin de asegurar la mayor disponibilidad de datos mensuales se seleccionaron 30 estaciones con un periodo de 47 años (1968- 2014), el cual tuvo la menor cantidad (< 13 %) de datos faltantes (Tabla 1). De las 30 estaciones, el 63 % de ellas presenta más de 40 años de registros continuos, el 27 % entre 31 y 40 años, mientras el 10 % entre 21 y 30 años.

2.3 Metodología

La metodología se compone de tres etapas resumidas en la Figura 2, el primero corresponde a la evaluación de los datos de precipitación, su homogenización y completación de datos mensuales por el método del vector regional (MVR); el segundo co-

rresponde al proceso de regionalización por medio del agrupamiento de estaciones usando k-means y la interpolación usando co-kriging; y la última etapa corresponde a la determinación de la agresividad y concentración de las precipitaciones a través de diferentes índices.



Figura 2. Esquema metodológico para la regionalización, agresividad y concentración de la serie de tiempo de lluvia.

2.3.1 Método del vector regional

Para evaluar la calidad y la estimación de datos faltante se utilizó el MVR, método que se orienta a la crítica, homogenización y completación-extensión de datos de precipitación (Hiez, 1977; Brunet-Moret,

1979). El MVR se basa en la creación de una estación 'Vector', tipo 'especie promedio'. Este concepto se refiere al cálculo de un promedio ponderado de anomalías de lluvia para cada estación, superando los efectos de estaciones con valores extremos y bajos de lluvia. Luego, se encuentran las técnicas de

Tabla 1. Características de las 30 estaciones en la cuenca del río Guayas: nombre, ubicación geográfica y datos faltantes.

Código	Nombre	Latitud (°S)	Longitud (°O)	Altitud (msnm)	% datos faltantes	Período
M1	Pichilingue	-1,07	-79,49	81	0	1968-2014
M2	Puerto Ila	-0,48	-79,34	319	2	1968-2014
M3	Sto. Domingo Aeropuerto	-0,25	-79,20	554	6	1968-1998
M4	Isabel María	-1,83	-79,56	4	8	1968-1988
M5	Milagro (Ingenio Valdez)	-2,12	-79,60	23	0.2	1968-2014
M6	Bucay	-2,20	-79,13	480	4	1969-2000
M6	San Juan La Mana	-0,92	-79,25	215	9	1968-2014
M8	Chillanes	-1,98	-79,06	2330	4	1968-2014
M9	Chunchi	-2,28	-78,92	2177	3	1968-2014
M10	Camposano #2	-1,59	-80,40	113	1	1977-2014
M11	Pueblo Viejo	-1,52	-79,54	19	13	1976-2014
M12	Las Delicias-Pichincha	-0,26	-79,40	340	8	1968-2002
M13	Moraspungo-Cotopaxi	-1,18	-79,22	409	8	1968-87; 96-2014
M14	Ramón Campaña	-1,12	-79,09	1462	7	1968-2014
M15	Echeandia	-1,43	-79,29	308	9	1968-2014
M16	Salinas-Bolívar	-1,40	-79,02	3600	10	1969-2014
M17	Río San Antonio-Monjas	-1,58	-79,13	2200	2	1980-2014
M18	Pallatanga	-2,00	-78,97	1523	9	1968-2014
M19	Compud	-2,34	-78,94	2402	8	1968-2014
M20	Palmira INAMHI	-2,06	-78,74	3180	4	1968-1991
M21	Achupallas-Chimborazo	-2,28	-78,77	3178	1	1968-2014
M22	Chimbo Pj Pangor	-1,94	-79,00	1452	10	1968-2014
M23	Alausi	-2,20	-78,85	2267	12	1968-2014
M24	Cañi-limbe	-1,77	-78,99	2800	6	1969-2014
M25	Guasuntos	-2,23	-78,81	2438	2	1975-2014
M26	Pangor-J.de Velasco	-1,83	-78,88	3109	11	1970-2014
M27	Colimes de Pajan	-1,58	-80,51	200	2	1970-2014
M28	Vinces INAMHI	-1,56	-79,77	14	8	1968-2014
M29	La Capilla INAMHI	-1,70	-80,00	7	5	1968-2014
M30	Palmeras Unidas (Palmar)	-0,26	-79,60	460	10	1987-2012

interposición anual Z_i y la precipitación anual de P_j , que se extienden por medio de la técnica de mínimos cuadrados. Esto podría obtenerse minimizando la suma de la siguiente ecuación (Espinoza Villar y col., 2009).

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \left(\frac{P_{ij}}{P_j} - Z_i \right) \quad (1)$$

Donde i es el índice de años, j el índice de estaciones, N el número de años y M el número de estaciones. P_{ij} representa la precipitación anual en la estación j , año i ; P_j es el período de lluvia promedio extendido de N años; y finalmente Z_i es el índice pluviométrico regional del año i . El conjunto completo de valores Z_i durante todo el período se co-

noce como vector anual de índices pluviométricos regionales. Al ser un proceso iterativo, este método permite calcular el vector de cada una de las regiones predefinidas, luego proporciona una comparación de variabilidad interanual de estaciones - vector, para finalmente descartar aquellas que no son consistentes con el vector regional (VR). Este proceso se repite tanto como sea necesario y fue realizado empleando el software HYDRACCESS (Vauchel, 2005)

2.3.2 Regionalización

En este estudio se utilizó el método de k-means, ampliamente usado para regionalizar zonas homogéneas de precipitaciones (Golian y col., 2010; Gómez-

Latorre, 2015; Shahana Shirin y Thomas, 2016; Rau y col., 2017). K-means es el algoritmo de agrupamiento más utilizado para identificar grupos homogéneos de objetos denominados conglomerados. Los datos dentro de un clúster comparten muchas características pero son muy diferentes a los datos que no pertenecen a ese clúster (Yashwant y Sananse, 2015). Los datos en este estudio se encuentran resumidos en una matriz de 30 filas correspondientes a las estaciones meteorológicas y 6 columnas con información como nombre de la estación, altitud, latitud, longitud y precipitación acumulativa. Una parte clave de la aplicación k-means es definir un número óptimo de grupos, que se puede realizar mediante la estimación del coeficiente de silueta (S) para cada número de grupos; el coeficiente S tiene la ventaja que sólo considera la partición real y no depende del algoritmo de agrupamiento, su valor se obtiene mediante la ecuación 2 (Rousseeuw, 1987):

$$S_{(i)} = \frac{b_i - a_i}{\max[a_{(i)}, b_{(i)}]} \quad (2)$$

Donde $a_{(i)}$ corresponde a la similitud promedio entre el objeto i y los otros objetos del mismo grupo y $b_{(i)}$ es la similitud promedio entre el objeto i y los miembros de los k-clúster. El coeficiente de S varía entre 1 y +1; la partición será mejor cuanto más cercano esté a +1; un valor negativo significa que no hay una buena correspondencia entre los miembros de su grupo, un valor de cero significa que el objeto podría pertenecer a cualquier grupo (Kaufman y Rousseeuw, 2005). También, se realizó la homogenización de la precipitación para eventos extremos como el Niño de 1997-1998, considerando la metodología anterior.

La interpolación de datos de precipitación anual se realizó utilizando un enfoque geoestadístico, método de co-kriging, el cual es una versión multivariable de la técnica de kriging (Goovaerts, 1998), considerando dos variables (altitud y precipitación acumulativa) transformadas logarítmicamente debido al sesgo y al amplio rango numérico de los valores de precipitación. Este método fue utilizado para la interpolación y la delimitación de zonas de precipitación (Rau y col., 2017) y para el mapeo de la distribución espacial de los índices.

2.3.3 Análisis de agresividad climática y concentración de las precipitaciones

La agresividad climática se analizó mediante la interpretación del índice de Fournier (IF) e Índice de Fournier Modificado (IFM). Fournier, (1960) propone un índice de agresividad climática o IF, que presenta una alta correlación con la cantidad de sedimentos arrastrados por la escorrentía. El IF estima las características erosivas (agresividad) basadas en el mes más lluvioso de cada año dentro de un período de tiempo dado. Para el cálculo del IF se utilizó la expresión (3). Donde IF: Índice de Fournier para el año j , p_{\max} es la precipitación media concerniente al mes más lluvioso (mm) y P es la precipitación media anual (mm).

$$IF_j = \frac{p_{\max}^2}{P} \quad (3)$$

Sin embargo, es necesario considerar zonas que presentan más de una máxima mensual o zonas donde los valores pluviométricos presentan valores elevados debido a la estacionalidad (Jordán y Bellinfante, 2000). Para corregir esos errores se propuso una modificación del IF original utilizando la precipitación acumulada, denominado IFM (Arnoldus, 1978). Este índice considera la lluvia de los doce meses y no sólo la del mes más lluvioso; su cálculo relaciona las precipitaciones mensuales con las anuales (ecuación 4). Donde IFM_j es el índice de agresividad de la lluvia, para el año j , p_{ij} es la precipitación mensual del mes i (mm) del año j y P_m es la precipitación media anual.

$$IFM_j = \frac{\sum_{i=1}^{12} (p_{ij})^2}{P_m} \quad (4)$$

La estacionalidad de la precipitación se estimó por medio del Índice de Concentración de Precipitación (ICP) propuesto por Oliver, (1980), siendo un indicador de la distribución de la precipitación temporal y utilizado como un estimador del comportamiento extremo de la precipitación (Sarricolea, Araya y Salazar, 2014). Tradicionalmente se ha aplicado en una escala anual y describe si la precipitación anual se concentra temporalmente en un solo mes o si se distribuye uniformemente a lo largo del año. El ICP se calculó a una escala anual a partir de la ecuación 5.

$$ICP_j = 100 \frac{\sum_{i=1}^{12} p_{ij}^2}{P_j^2} \quad (5)$$

El ICP fue analizado también a escala estacional considerando los períodos de mayor precipitación (diciembre-mayo) y menor precipitación (junio-noviembre), según la ecuación (6).

$$ICP_{\text{estac}} = 1000 \frac{\sum_{i=j}^6 p_{ij}^2}{(\sum_{i=j}^6 P_{ij})^2} \quad (6)$$

Donde ICP_j es el índice de concentración de las precipitaciones anuales (%), para el año j , ICP_{estac} es el índice de concentración a escala estacional (%), p_{ij} es la precipitación del mes i en el año j , P_j es la precipitación anual del año j . La diferencia principal entre estos índices son los rangos de valores de clasificación mostrados en la Tabla 2.

Las clasificaciones de los índices son a partir de (Fournier, 1960; Arnoldus, 1978) y (Oliver, 1980), respectivamente. La influencia del cambio climático en el patrón estacional de la concentración de las precipitaciones fue determinada mediante la prueba estadística no paramétrica de Mann-Kendall (MK), a tres niveles de significación (90%, 95% y 99%). El análisis de MK se realizó empleando el software TREND (<https://toolkit.ewater.org.au/trend>). La prueba de MK verifica la existencia de cambios positivos/negativos de una serie de datos, contra una hipótesis nula de no tendencias y donde los datos son aleatorios e independientes (Mann, 1945; Kendall, 1975). El análisis de tendencias de MK es una prueba robusta cuando los datos difieren

de la 'normalidad' y menos sensibles a valores atípicos (Lanzante, 1996). El análisis de MK se ha utilizado ampliamente para el análisis de detección de tendencias meteorológicas e hidrológicas (Kumar y col., 2009; Gocic y Trajkovic, 2013; Hermida y col., 2015; Zeleňáková y col., 2016; Güçlü, 2018; Sarricolea y col., 2019).

3 Resultados y discusiones

3.1 Regiones homogéneas

El valor óptimo para los números de clúster se determinó mediante el valor promedio general de S y el número de S negativo para cada grupo clúster que varía de 2 a 10 (Tabla 3). El valor máximo de S se obtuvo para el grupo de clúster 2 (0,51) y con un número menor de silueta negativo (1), es el único grupo que se considera como una estructura razonable, porque su valor de S es mayor a 0,50 (Kononenko y Kukar, 2007). Internamente el grupo de clúster 2 presenta una estructura de agrupamiento fuerte ($S=0.66$) mientras que el clúster 1 alcanzó un valor menor, con un S negativo (Figura 3b). Esto indica que en el clúster 1 se pueden encontrar centros de agrupación, aunque existe un considerable 'ruido'. Los grupos de clúster para eventos extremos como el Niño de 97-98 presentó resultados similares (Tabla 3).

Tabla 2. Índices que determinan la agresividad y concentración de precipitaciones.

Índice	Clasificación
Índice de Fournier (IF)	<50 Muy Bajo
	50-100 Bajo
	100-150 Moderado
	150-200 Alto
	>200 Muy alto
Índice de Fournier modificado (IFM)	<100 Muy Bajo
	100-200 Bajo
	200-300 Moderado
	300-400 Alto
	>400 Muy alto
Índice de concentración de precipitación (ICP)	8,3 %~10 % Uniforme
	10 %~15 % Moderadamente estacional
	15 %~20 % Estacional
	20 %~50 % Fuertemente estacional
	50 %~100 % Irregular

Las distribuciones espaciales de K-means (2) muestran un arreglo de estaciones de acuerdo con la variación topográfica y la longitud (Figura 3). El clúster de dos grupos divide a la CRG en dos regiones homogéneas de precipitación: parte baja y media (triángulos rojos) y parte alta (círculos negros). Las dos regiones están bien delineadas, teniendo en cuenta el mapa de interpolación de la lluvia, como se muestra en la Figura 3a.

La región uno (R1) se ubica en las laderas de la cordillera occidental de los Andes y las grandes llanuras de la costa ecuatoriana (78,9° a 80,59° O) (Figura 4a). La altitud varía entre 3 a 2500 msnm, ocupa el 85,2% del área de la CRG. El régimen es unimodal, la estación lluviosa va de diciembre a mayo (Figura 4b) y concentra el 89% de la lluvia anual acumulada (Cadier y col., 1996; Rossel y Cadier, 2009; Fries y col., 2014) y una estación seca (junio – noviembre) (Hastenrath, 1997). El rango de precipitación va desde los 850 hasta los 3500 mm al año y un CV interanual de 0,38 (Figura 4a). La lluvia en esta región es de convección y la distribución

de época seca y lluviosa se debe al movimiento de norte a sur de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) (Rollenbeck y Bendix, 2011).

En la región dos (R2) se sitúa en la cordillera occidental de los Andes; la altitud es superior a los 1500 msnm e inferior a 4000 msnm. Los totales pluviométricos (450 a 1500mm año-1) y el CV interanual (0.34) fueron relativamente bajos comparados con la R1 (Figura 4a). La distribución de la precipitación tiene una tendencia bimodal: el primer pico se presenta de enero a mayo, seguido de octubre a diciembre y el período mayo a agosto es el de menor precipitación media mensual (Figura 4c). La cantidad de lluvia que cae en esta zona se debe a la influencia de lluvia orográfica y de convección (Rollenbeck y Bendix, 2011). La formación de precipitaciones es compleja en las montañas debido a la interacción entre el transporte de humedad, el calentamiento de la superficie diferencial, el campo de viento sinóptico y el sistema local de brisa montañosa (Daly, Smith y Smith, 2007; Foresti y Pozdnoukhov, 2012).

Tabla 3. Resultados del análisis de k-medias para el número de grupos de clúster.

Grupos de Clúster	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Promedio general de silueta	0,51	0,46	0,35	0,31	0,34	0,30	0,34	0,27	0,23
Número de silueta negativa	1	3	3	3	2	3	3	4	6
Promedio general de silueta_eventos extremos	0,52	0,40	0,26	0,29	0,29	0,26	0,26	0,26	0,26
Número de silueta negativa_eventos extremos	0	3	4	5	6	5	4	5	5

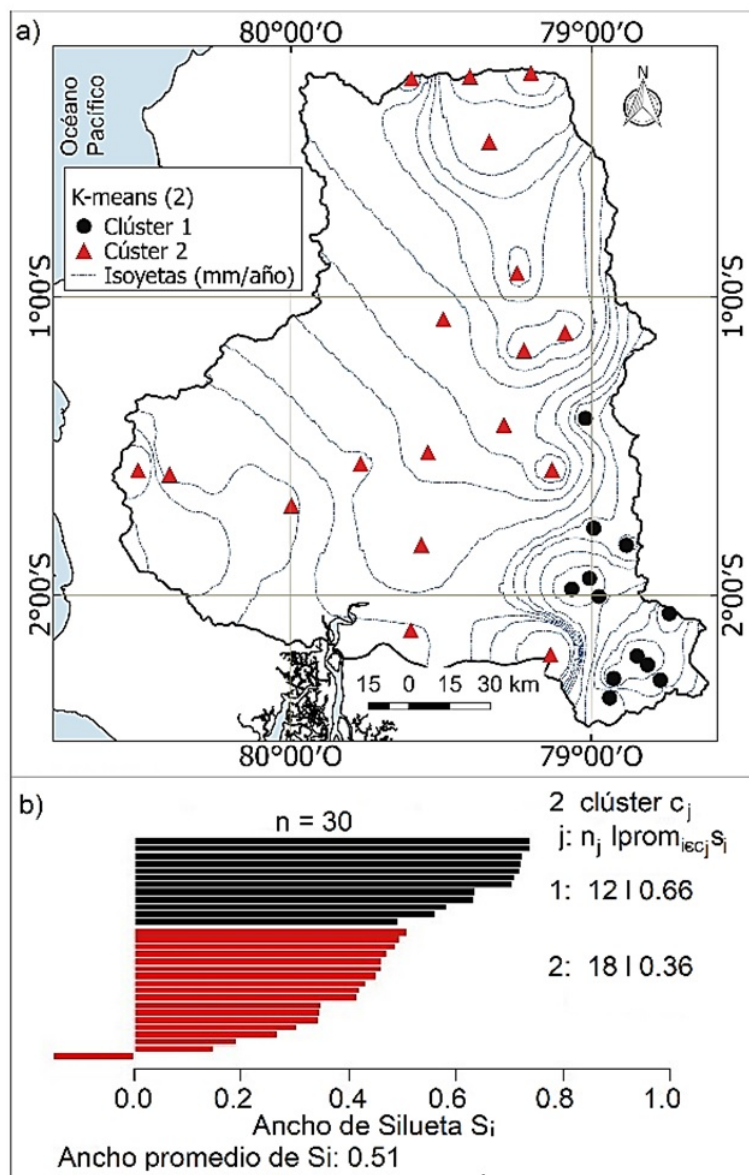


Figura 3. Distribución espacial del grupo de clúster (2) obtenido con el proceso k-means y su valor de silueta.

Se pueden identificar dos patrones de precipitación anual dentro del área de estudio: en la R1 se encontró un ciclo anual bien diferenciado entre períodos de avenidas y estiaje, caracterizado por picos para los años 72-73; 75-76; 91-92; y eventos extremos para 82-83 y 97-98 (Figura 4d). Las precipitaciones extremas en Ecuador son asociadas a eventos de El Niño que causaron severas inundaciones, pérdidas económicas y enfermedades (Bendix y Bendix, 2006). En la R1, la influencia del fenómeno de El Niño se encuentra fuertemente vinculada a los

excedentes de lluvia anual (Rossel y col., 1998). La R2 presenta una débil estacionalidad, la cual es congruente con el coeficiente de variación promedio estimado (0,34), donde se muestra una disminución de la precipitación promedio anual a lo largo de la mayoría de las estaciones en comparación a R1. Los eventos extremos (82-83 y 97-98) son también observados en la región R2, debido a que la influencia de El Niño en esta zona es variable (Cadier y col., 1996; Rossel y col., 1998).

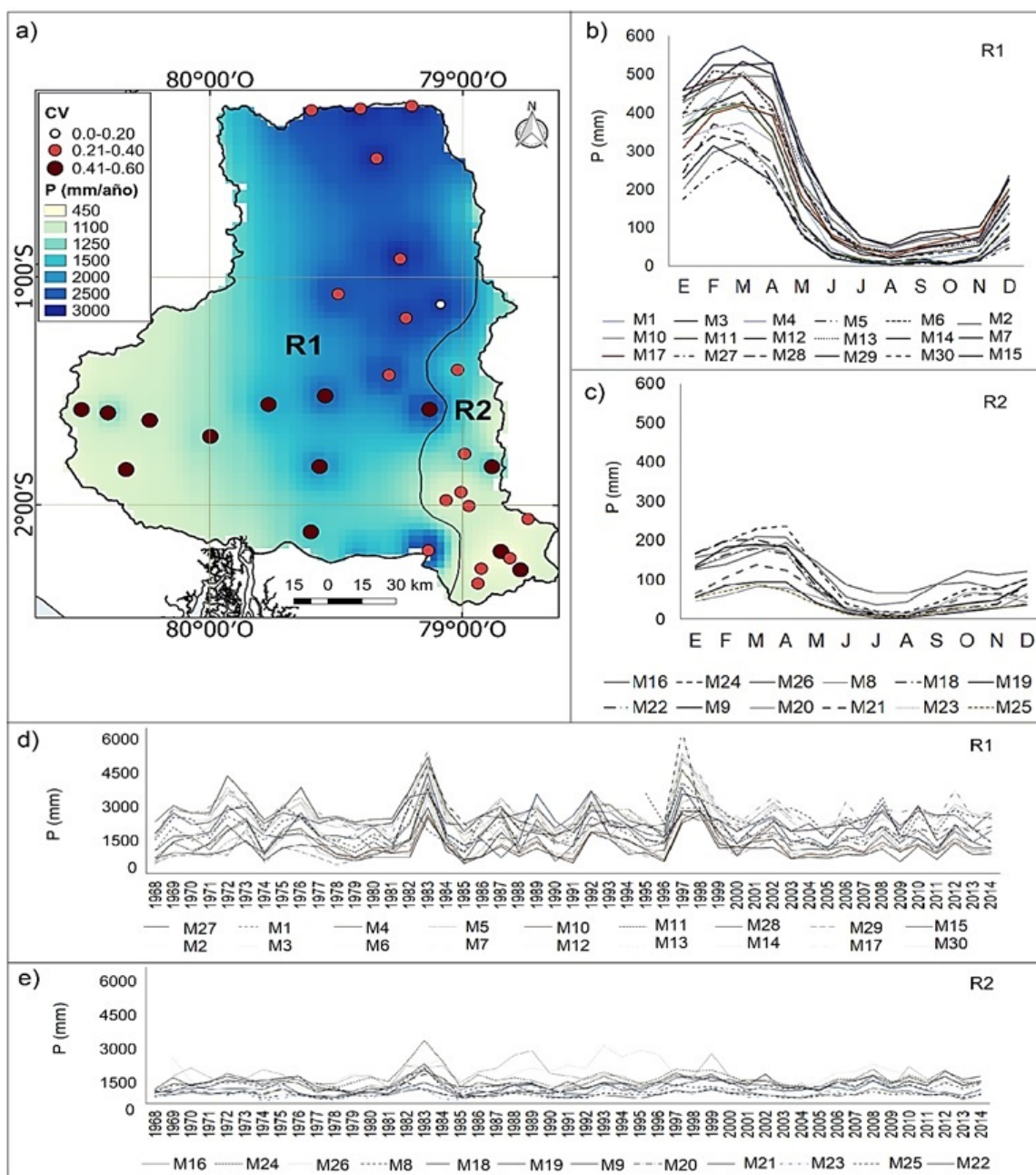


Figura 4. Distribución espacial de las dos regiones (R1-R2) de lluvia homogénea después del proceso de regionalización por k-means. a) Rango de coeficiente de variación (CV) interanual para las 30 estaciones pluviométricas. b) y c) Régimen de precipitación mensual de R1 y R2. d) y e) Distribución de precipitación anual (1968–2014) para las regiones R1 y R2.

3.2 Agresividad Climática

En la región R1, el 45% de las estaciones presentaron valores promedios anuales del IF superiores a 150, esto sugiere la ocurrencia de lluvia de muy alta erosividad (Figura 5a). El IF para la R2 muestra que

el 50% de los valores promedios anuales son inferiores a 50 y los valores restantes fueron superiores a 50 e inferiores a 100, considerados como lluvia de muy baja y baja erosividad, respectivamente (Figura 5a). Los resultados a partir de IFM sugieren un patrón espacial similar al IF (Figura 5b). De hecho,

en la región R1 son predominantes valores mayores a 300, asociado a una alta erosividad. Mientras la región R2 presenta valores aproximados a 100, lo que indica niveles bajos o muy bajos de erosividad. La diferencia de los índices estimados para las regiones R1 y R2 pueden estar asociados a la distribución espacial de la lluvia promedio anual (Figura 4a), lo que sugiere una alta influencia de la estacionalidad de las lluvias en ambas regiones (Figura 4 d-e). Asimismo, la estacionalidad de la cuenca es corroborada con los resultados del ICP (Figura 5c), pues estos

alcanzan valores alrededor de 20%, lo que propone una clasificación predominantemente entre estacional y fuerte estacionalidad. Además, en la región R1 el IFM logra identificar ocho estaciones de muy alta erosividad, esto puede ser debido a que el IFM considera la lluvia de todos los doce meses y no sólo la del mes más lluvioso del año. Por lo que esta metodología podría ser más apropiada para caracterizar la severidad de las lluvias de la zona en estudio (Castelan-Vega y col., 2015).

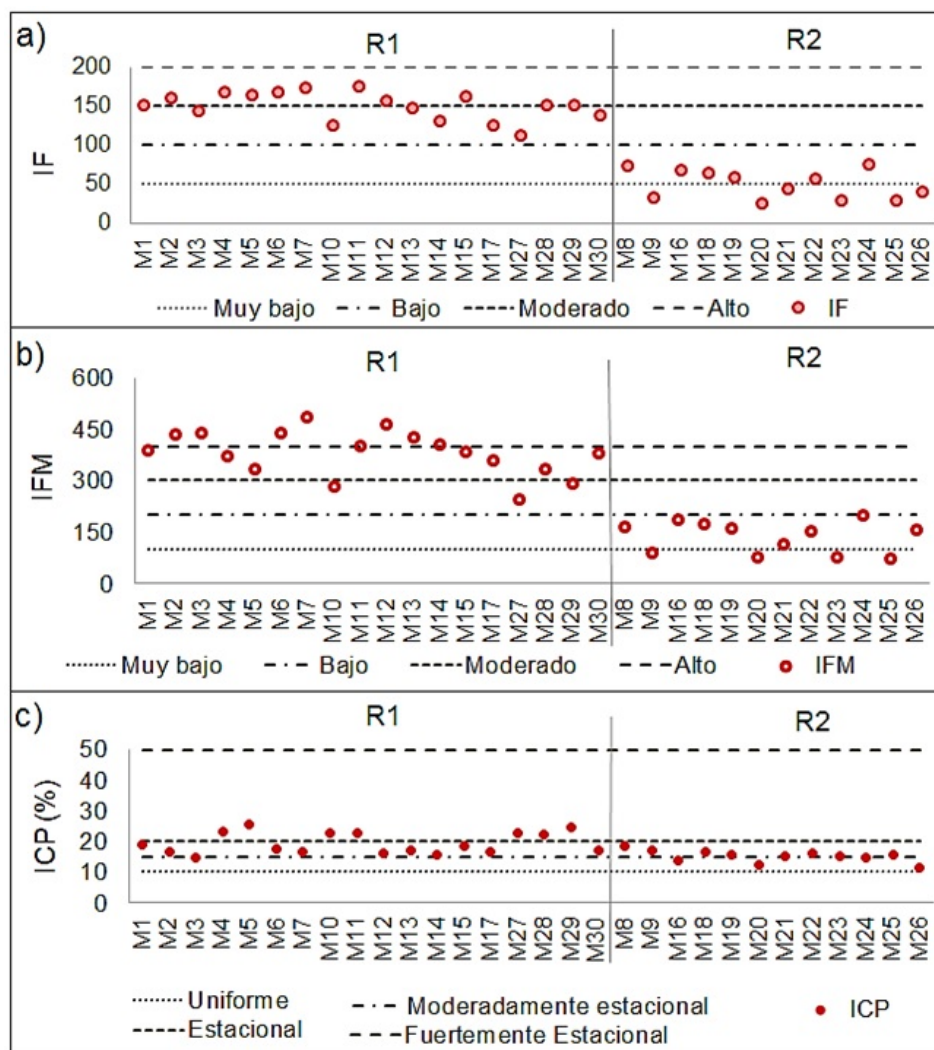


Figura 5. Índices de agresividad: a) índice de Fournier (IF), b) índice de Fournier Modificado (IFM) y c) concentración de la precipitación (ICP) media anual de 30 estaciones en el área de estudio.

Es importante destacar que los resultados de agresividad en la región R2 coincide con la región de mayor precipitación anual, el cual presenta una buena correlación y nivel de significancia entre el patrón de precipitación media anual (mm) con el IF ($r = 0,77; p < 0,01$) e IFM ($r = 0,93; p < 0,01$) (Figura 6 d-e), lo que ratifica que una mayor acumulación anual (mm) correspondería a una mayor agre-

sividad (Besteiro y Delgado, 2011) en zonas donde la precipitación anual es mayor a 900 mm (Jordán y Bellinfante, 2000; Rey y col., 2012). También se observó una disminución del IF con la altitud ($r = 0,85; p < 0,01$), no así para el IFM. Para la latitud y longitud no se encontró correlación entre los patrones espaciales de agresividad climática.

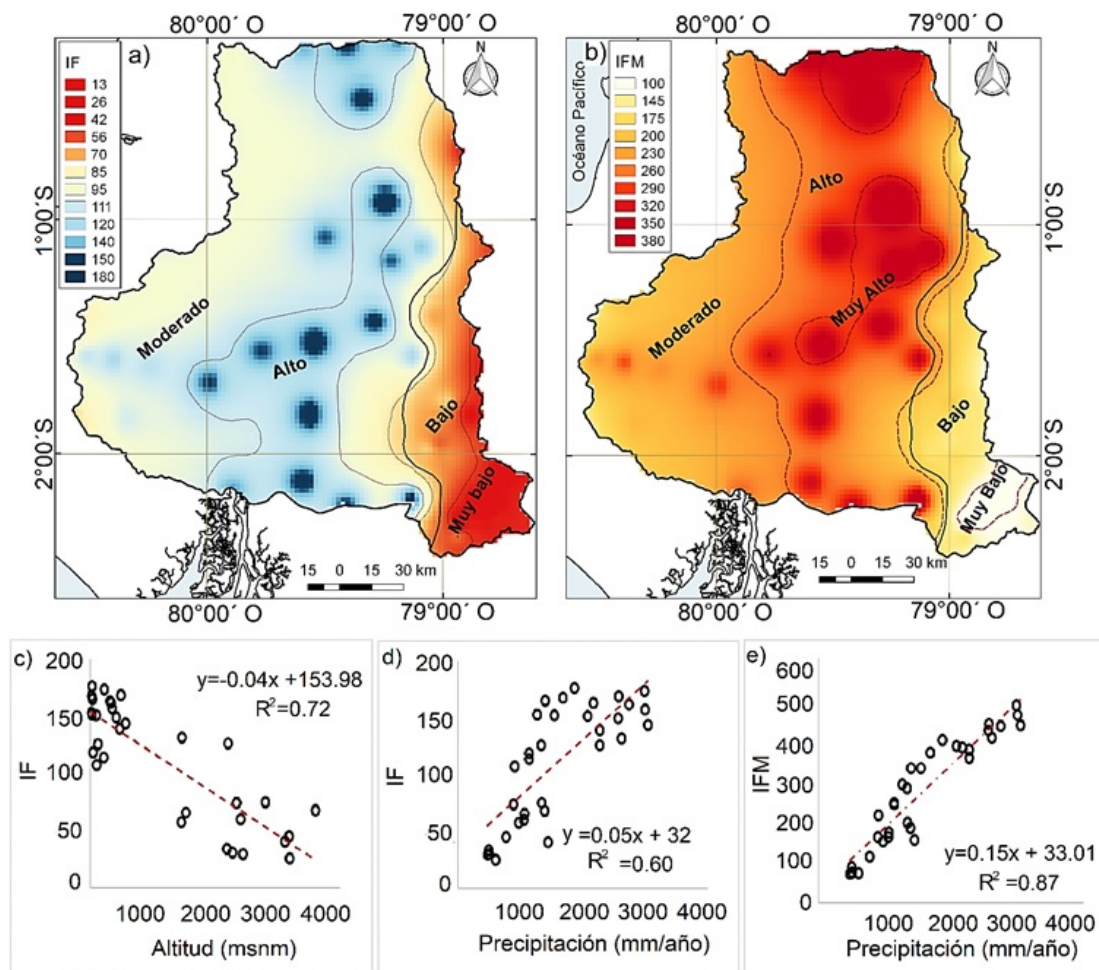


Figura 6. Distribución espacial: a) y b) Agresividad (IF, IFM) promedio anual para el período 1968-2014. Correlación: c) IF con la altitud, d) y e) IF e IFM con la precipitación acumulativa.

3.3 Concentración de las precipitaciones

La concentración media anual histórica observada en R1 se distribuyó de manera estacional con valores que oscilan entre 15 – 19%, seguida de una distribución fuertemente estacional (Figura 5c); es decir, la precipitación se concentra en pocos meses del

año. En la región R2, el ICP registra valores superiores a 11 e inferior a 18%; 9 estaciones muestran una distribución estacional y 3 distribuciones moderadamente estacional a lo largo del año (Figura 5c). La concentración media anual histórica observada en regiones de alta montaña fue predominan-

temente una concentración estacional y moderadamente estacional; estos resultados concuerdan con

Valdés-Pineda y col., (2016).

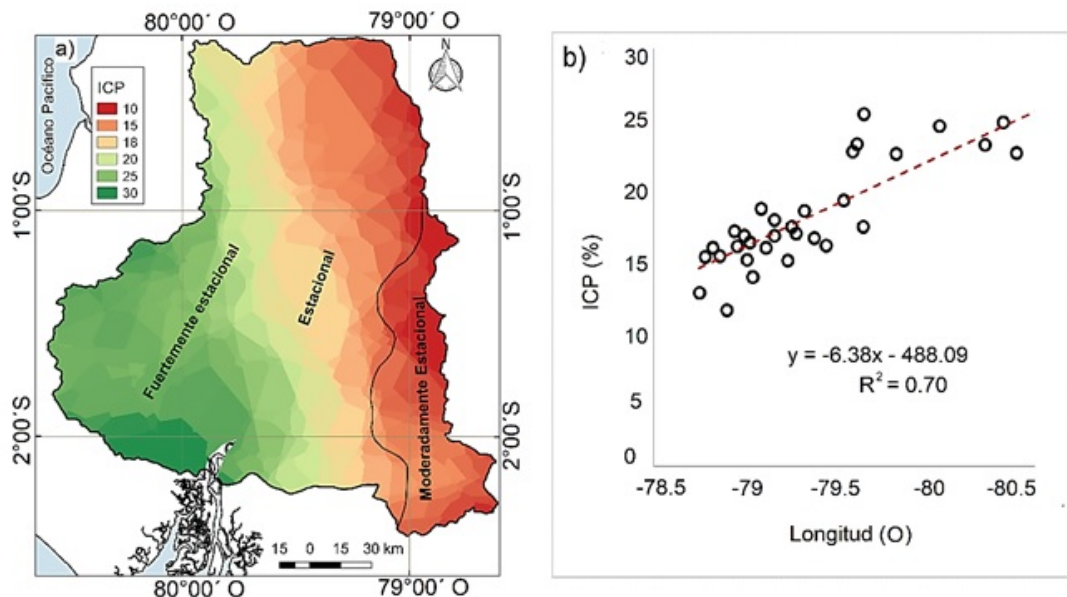


Figura 7. Distribución espacial: a) Concentración de las precipitaciones (ICP) promedio anual para el período 1968-2014 y b) Correlación del ICP con la longitud.

Las regiones de alta montaña presentan una concentración de lluvia entre estacional y moderadamente estacional, y la región central entre fuertemente estacional y estacional (Figura 7a). Esto sugiere una fuerte asociación con la longitud ($r=0,83$; $p<0,01$) (Figura 7b). La estacionalidad aumenta a lo largo de la gradiente longitudinal, lo que conlleva a una concentración más uniforme de precipitación anual. Los cambios en el ICP son complejos, posiblemente relacionados con las características atmosféricas globales y con factores locales y sinópticos que afectan la precipitación. Sin embargo, no se encontró correlación entre ICP con la latitud y la precipitación media anual, lo que sugiere que los años con mayor precipitación anual no están relacionados con la concentración de precipitación. Los hallazgos de esta investigación explican el porqué la R2 puede ser fuertemente afectada por la lluvia estacional durante el período de avenidas, donde la precipitación que se concentra en un número reducido de meses es relevante para la ocurrencia de erosión de suelos en la parte alta de la cuenca, ocasionando sedimentación en el área urbana ubicada en la parte baja de la CRG.

Para analizar los cambios en la concentración estacional de lluvia mensual, la serie de ICP estacional (período de mayor y menor precipitación) entre 1968 y 2014 fue estimada para las regiones R1 y R2 (Figura 8). Porcentajes de valores de concentración alrededor de 50 % sugieren irregularidad de las precipitaciones; es decir, una alta cantidad de lluvia puede precipitar en un número reducido de meses, el cual es asociado a eventos de inundación. Por el contrario, una muy baja cantidad de precipitación puede estar cayendo en un mayor número de meses, causando períodos de sequía que pueden afectar cultivos de secano. Esta irregularidad de la lluvia mensual es detectada en algunos años en el período seco de la región R1 (Figura 8). Esto podría afectar la agricultura por secano en la región oeste de la cuenca (≈ 1600 msnm). Los resultados de ICP estacional ($\approx 20\%$) en el período de lluvias en R1 y R2 no muestran cambios temporales significativos y sugieren una estacionalidad marcada.

Los resultados del análisis de tendencias de MK permitió identificar las tendencias anuales positivas

del ICP_{estac} solo para el período de estiaje (junio-noviembre) y tendencias negativas para los períodos de estiaje y de lluvias. Sin embargo, la mayoría de las estaciones no muestran una tendencia signifi-

cativa (Figura 9 a y b). Las tendencias negativas del ICP_{estac} se concentran para la R1 y R2 en las parte norte y sureste de la CRG.

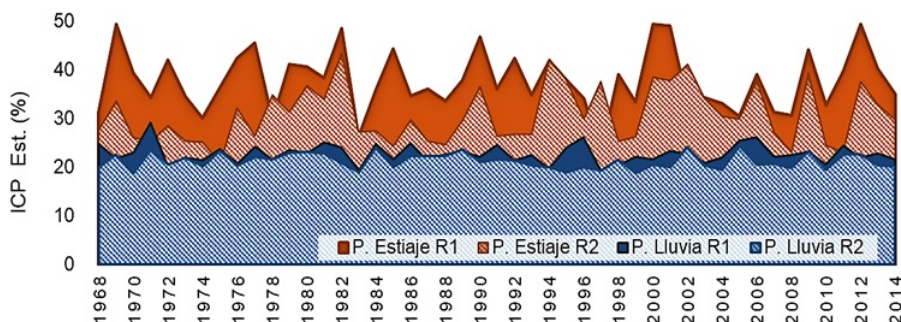


Figura 8. Serie anual de índice de concentración de la precipitación estacional (ICP_{estac}) para el período (P.) de estiaje (junio a noviembre) y de lluvia (diciembre-mayo), 1968-2014 para la R1 y R2.

Para el período de fuertes precipitaciones (diciembre-mayo), solo dos estaciones muestran tendencia negativa en R1 y R2, con niveles de significancia del 90 % y 99 %, respectivamente (Figura 8a). En el período de estiaje, dos estaciones muestran tendencia significativa negativa al 90 y 95 % en la región sur de R1. Asimismo, solo una estación ubicada en la región de alta montaña registra tendencia positiva (Figura 8b). En general, las tendencias positivas o negativas identificadas en R1 y R2 indican cambios asociados a la irregularidad de la lluvia mensual en la distribución temporal de la concentración; no obstante, esta irregularidad es identificada en muy pocas estaciones.

4 Conclusiones

El estudio de la agresividad de las precipitaciones para la cuenca del río Guayas-Ecuador permitió homogenizar las zonas de precipitación, caracterizar la variabilidad de las lluvias en el período 1968 – 2014 y su potencial impacto erosivo. Los resultados sugieren dos regiones 1) al oeste de la cuenca en la región costanera hasta los 2500 msnm y 2) al este de la cuenca en la región de alta montaña entre 1500 y 4000 msnm. La cuenca se evaluó de forma anual mediante el índice de Fournier (IF), índice de Fournier Modificado (IFM) y el Índice de concentración

de precipitación (ICP). Los hallazgos de esta investigación a partir de IF e IFM indican que la cuenca del río Guayas en la zona costanera se clasifica como región de agresividad alta a muy alta en la región costera, mientras la región de alta montaña es clasificada como de baja o muy baja erosividad.

Las zonas de alta actividad agrícola ubicadas en la región costera presentan mayor potencial erosivo de la lluvia en comparación a la región de alta montaña. La distribución espacial de la concentración de las precipitaciones se incrementa de este a oeste, mostrando niveles de moderada a fuerte estacionalidad. Los resultados mediante los índices de agresividad y concentración de las precipitaciones permitieron evaluar cualitativamente el posible impacto de la lluvia sobre el suelo e identificar patrones de agresividad con la acumulación de la precipitación y concentración de la precipitación asociada a la longitud, lo que puede estar asociado a incursiones de flujos de humedad estacional proveniente de la Amazonía ecuatorial a los Andes (Espinoza Villar y col., 2009). Estos resultados también indican que la concentración de lluvia mensual no presenta cambios o tendencias predominantes entre 1968 y 2014. No obstante, se recomienda el análisis de la concentración de lluvia diaria en regiones ecuatoriales, ya que grandes porcentajes de lluvia estacional o anual pueden precipitar en pocos días.

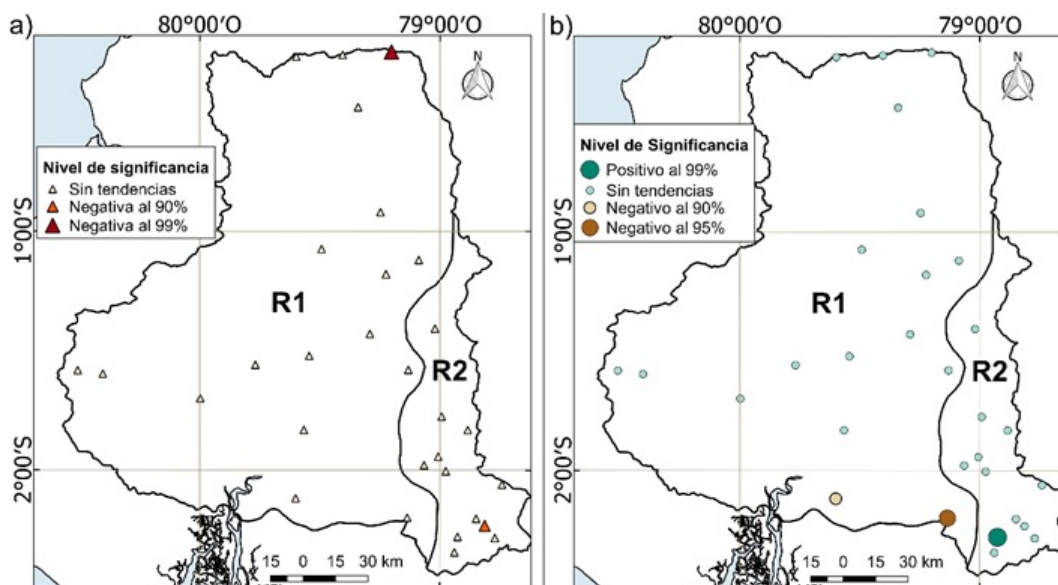


Figura 9. Distribución estacional de tendencias del ICP (1968–2014) en la cuenca del río Guayas para diferentes rangos del nivel de significancia: a) diciembre - mayo, b) junio - noviembre.

Referencias

- Angulo-Martínez, M. y col. (2009). «Mapping rainfall erosivity at a regional scale, a comparison of interpolation methods in the Ebro Basin (NE Spain)». En: *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 13.10, 1907–1920. Online: <https://bit.ly/33ucq9c>.
- Arnoldus, H. (1978). «Assessment of erosion». En: ed. por M. De Boodst y D. Gabriels. Chichester, England: John Wiley y Sons, Inc. Cap. An approximation of the rainfall factor in the Universal Soil Loss Equation.
- Ballari, D. y col. (2018). «Spatial functional data analysis for regionalizing precipitation seasonality and intensity in a sparsely monitored region: Unveiling the spatio-temporal dependencies of precipitation in Ecuador». En: *International Journal of Climatology* 38, 3337–3354. Online: <https://doi.org/10.1002/joc.5504>.
- Barrera-Crespo, P.D. y col. (2018). «Sediment budget analysis of the Guayas River using a process-based model». En: *Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss.* 1–21. Online: <https://doi.org/10.5194/hess/bibrangedash2018/bibrangedash467>.
- Bendix, A. y J. Bendix (2006). «Heavy rainfall episodes in Ecuador during El Niño events and associated regional atmospheric circulation and SST patterns». En: *Adv. Geosci.* 6, 43–49. Online: <https://bit.ly/2H3ejjB>.
- Besteiro, S. y M. Delgado (2011). «Evaluación de la agresividad de las precipitaciones en la cuenca del Arroyo El Pescado, provincia de Buenos Aires (Argentina)». En: *Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata* 110, 82–90. Online: <https://bit.ly/2MJ7Fnj>.
- Brunet-Moret, Y. (1979). «Homogénéisation des précipitation». En: *Cahiers ORSTOM. Serie Hydrologie.* 16.3-4, 147–170. Online: <https://bit.ly/2Lfg7Yg>.
- Buckalew, J.O. y col. (1998). *Water Resources Assessment of Ecuador*. Inf. téc. US Army Corps of Engineers (USACE).
- Cadier, E. y col. (1996). *Las inundaciones en la zona costera ecuatoriana: mecanismos responsables, obras de protección existentes y previstas*. Inf. téc. INESEQ 28.
- Castelan-Vega, R. y col. (2015). «Agresividad de las precipitaciones en la subcuenca del río San Marcos, Puebla, México.» En: *Investigaciones Geográficas* 83, Online: <https://doi.org/10.14350/rig.33480>.
- Corporación Andina de Fomento (1998). «(1998) El Fenómeno El Niño 1997–1998.» En: *Memorias, Retos y Soluciones*. Vol. IV. Ecuador, págs. 72–73.

- Daly, C., J.W. Smith y McKane R.B. Smith J.I. (2007). «High-Resolution Spatial Modeling of Daily Weather Elements for a Catchment in the Oregon Cascade Mountains, United States». En: *Journal of Applied Meteorology and Climatology* 46, 1565–1586. Online: <https://doi.org/10.1175/JAM2548.1>.
- De Luis, M. y col. (2011). «Precipitation concentration changes in Spain 1946–2005». En: *Natural Hazards and Earth System Science* 11, 1259–1265. Online: <https://doi.org/10.5194/nhess-11-1259-2011>.
- Egas, R. (1985). «Ecuador, inundaciones 1982 – 1983 en la Cuenca baja del Guayas: Procesos de organización de los campesinos para hacer frente al desastre». En: *Desastres Naturales y Sociedad en América Latina*. Ed. por et al. J. Hardoy. Grupo Editora Latinoamericana.
- Espinoza Villar, J.C. y col. (2009). «Spatio-temporal rainfall variability in the Amazon basin countries (Brazil, Peru, Bolivia, Colombia, and Ecuador)». En: *International Journal of Climatology* 29.11, 1574–1594. Online: <https://doi.org/10.1002/joc.1791>.
- Ezenwaji, E., C. Nzoiwu y G. Chima (2017). «Analysis of Precipitation Concentration Index (PCI) for Awka Urban Area, Nigeria». En: *Hydrology: Current Research* 8.4, 287. Online: <https://doi.org/10.4172/2157-1234.1000287>.
- Foresti, L. y A. Pozdnoukhov (2012). «Exploration of alpine orographic precipitation patterns with radar image processing and clustering techniques: Exploration of alpine orographic precipitation patterns». En: *Meteorological Applications* 19, 407–419. Online: <https://doi.org/10.1002/met.272>.
- Fournier, F. (1960). *Climat et erosion; la relation entre l'érosion du sol par l'eau et les précipitations atmosphériques*. 1 ed. Paris, France. Online: <https://bit.ly/2L0sM2j>; Presses universitaires de France.
- Fries, A. y col. (2014). «Meteorology and Atmospheric Physics». En: *Catchment precipitation processes in the San Francisco valley in southern Ecuador: combined approach using high-resolution radar images and in situ observations* 126.1-2, 13–29. Online: <https://doi.org/10.1007/s00703-014-0335-3>.
- García-Barrón, L., J. Morales y A. Sousa (2018). «A new methodology for estimating rainfall aggressiveness risk based on daily rainfall records for multi-decennial periods». En: *Science of The Total Environment* 615.15, 564–571. Online: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.09.305>.
- Gobierno Provincial del Guayas (2016). *Plan Provincial de Riego y Drenaje del Guayas*. Gaceta oficial del Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial del Guayas. Año 1. Inf. téc. 90. Guayaquil.
- (2018). *Estudio de impacto ambiental del proyecto dragado de la II fase y disposición de los sedimentos de los alrededores del islote el palmar en la provincia del Guayas considerando como sitios de depósito Isabel Ana, lotización El Tejar, Caracoles y Terrenos particulares del cantón Durán*. Inf. téc.
- Gocic, M. y S. Trajkovic (2013). «Analysis of changes in meteorological variables using Mann-Kendall and Sen's slope estimator statistical tests in Serbia». En: *Global and Planetary Change* 100, 172–182. Online: <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2012.10.014>.
- Golian, S. y col. (2010). «Comparison of classification and clustering methods in spatial rainfall pattern recognition at Northern Iran». En: *Theoretical and Applied Climatology* 102, 319–329. Online: <https://doi.org/10.1007/s00704-010-0267-x>.
- Goovaerts, P. (1998). «Geostatistics for Natural Resources Evaluation». En: *Geological Magazine* 135.6, 819–842. Online: <https://bit.ly/30Jsxho>.
- Gregori, E., M.C. Andrenelli y G. Zorn (2006). «Assessment and classification of climatic aggressiveness with regard to slope instability phenomena connected to hydrological and morphological processes». En: *Journal of Hydrology* 329, 489–499. Online: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2006.03.001>.
- Güçlü, Y.S. (2018). «Multiple Sen-innovative trend analyses and partial Mann-Kendall test». En: *Journal of Hydrology* 566, 685–704. Online: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.09.034>.
- Gómez-Latorre, Douglas (2015). «Regionalización de patrones de precipitación para periodos multianuales secos y húmedos en el Altiplano Cundiboyacense». En: Online: <https://bit.ly/327Z9BO>.
- Hastenrath, S. (1997). «Annual cycle of upper air circulation and convective activity over the tropical Americas». En: *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 102, 4267–4274. Online: <https://doi.org/10.1029/96JD03122>.

- Hermida, L. y col. (2015). «Hailfall in southwest France: Relationship with precipitation, trends and wavelet analysis». En: *Atmospheric Research* 156, 174–188. Online: <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2015.01.005>.
- Hernando, D. y M.G. Romana (2016). «Estimate of the (R) USLE rainfall erosivity factor from monthly precipitation data in mainland Spain». En: *J. Iber. Geol.* 42, 113–124. Online: https://doi.org/10.5209/rev_JIGE.2016.v42.n1.49120.
- Hiez, G. (1977). «Lhomogénéité des données pluviométriques». En: *Cahiers ORSTOM. Serie Hydrologie* 14.2, págs. 111–119.
- Jordán, A. y N. Bellinfante (2000). «Cartografía de la erosividad de la lluvia estimada a partir de datos pluviométricos mensuales en el Campo de Gibraltar (Cádiz)». En: *Edafología* 7.3, 83–92.
- Kaufman, L. y P.J. Rousseeuw (2005). *Finding groups in data: an introduction to cluster analysis*. Wiley series in probability and mathematical statistics. Hoboken, N.J.: Wiley.
- Kendall, M.G. (1975). *Rank Correlation Methods*. London, UK: Griffin.
- Kinnell, P. (2010). «Event soil loss, runoff and the Universal Soil Loss Equation family of models: review». En: *J. Hydrol.* 385.
- Kononenko, I. y M. Kukar (2007). *Machine Learning and Data Mining: Introduction to Principles and Algorithms*. Chichester, UK. Online: <https://bit.ly/2L0pL1Q>: Horwood Publishing.
- Kumar, S. y col. (2009). «Streamflow trends in Indiana: Effects of long term persistence, precipitation and subsurface drains». En: *Journal of Hydrology* 374, 171–183. Online: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.06.012>.
- Lanzante, J.R. (1996). «Resistant, robust and non-parametric techniques for the analysis of climate data: Theory and examples, including applications to historical radiosonde station data». En: *International Journal of Climatology* 16.11, 1197–1226. Online: <https://bit.ly/2OQzgok>.
- Mann, H.B. (1945). «Nonparametric tests against trend». En: *Econometrica* 13, 245–259. Online: <https://bit.ly/2ZvPQOj>.
- Martín-Fernández, L. y M. Martínez-Núñez (2011). «An empirical approach to estimate soil erosion risk in Spain». En: *Science of The Total Environment* 409, 3114–3123. Online: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.05.010>.
- Mondal, A., D. Khare y S. Kundu (2016). «Change in rainfall erosivity in the past and future due to climate change in the central part of India». En: *International Soil and Water Conservation Research* 4.3, 186–194. Online: <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2016.08.004>.
- Oliver, J. (1980). «Monthly precipitation distribution: a comparative index». En: *The Professional Geographer* 32.3, 300–309. Online: <https://doi.org/10.1111/j.0033-5875.1980.00300.x>.
- Panagos, P. y col. (2015). «Rainfall erosivity in Europe». En: *Science of The Total Environment* 511, 801–814. Online: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.01.008>.
- Parracho, A.C., P. Melo-Gonçalves y A. Rocha (2016). «Regionalisation of precipitation for the Iberian Peninsula and climate change». En: *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C* 94, 146–154. Online: <https://doi.org/10.1016/j.pce.2015.07.004>.
- Prakash, S. y col. (2015). «Error characterization of TRMM Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA-3B42) products over India for different seasons». En: *Journal of Hydrology* 529, 1302–1312. Online: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.08.062>.
- Rasel, A.H., M. Islam y M. Keramat (2016). «Analysis of Annual and Seasonal Precipitation Concentration Index of North-Western Region of Bangladesh». En: *International Conference on Computer, Communication, Chemical, Materials and Electronic Engineering*, 107–110. Online: <https://bit.ly/349Ewa3>.
- Rau, P. y col. (2017). «Regionalization of rainfall over the Peruvian Pacific slope and coast: Regionalization of Rainfall (Peruvian Coast)». En: *International Journal of Climatology* 37, 143–158. Online: <https://doi.org/10.1002/joc.4693>.
- Rey, J.C. y col. (2012). «Análisis de la agresividad y concentración de las precipitaciones en Venezuela. IV. región los Andes». En: *BioAgro* 24, 115–120. Online: <https://bit.ly/2MIEaSV>.
- Reynaud, J.-Y. y col. (2018). «Tide-dominated deltas in active margin basins: Insights from the Guayas estuary, Gulf of Guayaquil, Ecuador». En: *Marine Geology* 403, 165–178. Online: <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2018.06.002>.
- Rollenbeck, R. y J. Bendix (2011). «Rainfall distribution in the Andes of southern Ecuador derived from blending weather radar data and meteorological field observations». En: *Atmospheric Research*

- search 99, 277–289. Online: <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2010.10.018>.
- Rossel, F., E. Caddier y Gómez G. (1996). «Las inundaciones en la zona costera ecuatoriana: causas; obras de protección existentes y previstas». En: *Bull. Inst. fr. études andines* 25.3, 399–420.
- Rossel, F. y E. Cadier (2009). «El Niño and prediction of anomalous monthly rainfalls in Ecuador». En: *Hydrological Processes* 23, 3253–3260. Online: <https://doi.org/10.1002/hyp.7401>.
- Rossel, F. y col. (1998). «Régionalisation de l'influence du El Nino sur les précipitations de l'Equateur». En: *Bull. Inst. fr. études andines* 27.3, 643–654. Online: <https://bit.ly/2zoRFOD>.
- Rousseeuw, P.J. (1987). «Silhouettes: A graphical aid to the interpretation and validation of cluster analysis». En: *Journal of Computational and Applied Mathematics* 20, 53–65. Online: [https://doi.org/10.1016/0377-0427\(87\)90125-3](https://doi.org/10.1016/0377-0427(87)90125-3).
- Sanchez-Moreno, J.F., C.M. Mannaerts y V. Jetten (2014). «Rainfall erosivity mapping for Santiago Island, Cape Verde». En: *Geoderma* 217, 74–82. Online: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2013.10.026>.
- Sarricolea, P. y col. (2019). «Trends of daily precipitation concentration in Central-Southern Chile». En: *Atmospheric Research* 215, 85–98. Online: <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2018.09.005>.
- Sarricolea, Pablo, Cristobal Araya y Pamela Salazar (2014). «Concentración de las precipitaciones en Chile central y su relación con los patrones de variabilidad de baja frecuencia, período 1965-2010». En: 305-314. Online: <https://bit.ly/30J8DmS>.
- Sevruk, B. (2004). *Precipitation as the water cycle element. Theory and Practice of Precipitation Measurement*. Inf. téc. (in German), Manuscript to be published.
- Shahana Shirin, A.H. y R. Thomas (2016). «Regionalization of Rainfall in Kerala State». En: *Procedia Technology* 24, 15–22. Online: <https://doi.org/10.1016/j.protcy.2016.05.004>.
- Soledispa, B. (2002). «Estudio de los sedimentos del sector donde convergen los ríos Daule y Babahoyo, y las posibles causas que están formando un nuevo islote en ese sector». En: *Acta oceanográfica del Pacífico* 11.1, págs. 185-201.
- Terranova, O. y col. (2009). «Soil erosion risk scenarios in the Mediterranean environment using
- RUSLE and GIS: an application model for Calabria (southern Italy)». En: *Geomorphology* 112, 228–245. Online: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2009.06.009>.
- Thi Nguyen, T.H. y col. (2015). «Habitat suitability of the invasive water hyacinth and its relation to water quality and macroinvertebrate diversity in a tropical reservoir». En: *Limnologia* 52, 67–74. Online: <https://doi.org/10.1016/j.limno.2015.03.006>.
- Twilley, R. R. y col. (2001). «The Gulf of Guayaquil and the Guayas River Estuary, Ecuador». En: *Coastal Marine Ecosystems of Latin America*. Ed. por Ulrich Seeliger y Björn Kjerfve. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 245-263. Online: https://doi.org/10.1007/978-3-662-04482-7_18.
- Valdés-Pineda, R. y col. (2016). «Spatio-temporal trends of precipitation, its aggressiveness and concentration, along the Pacific coast of South America (36–49°S)». En: *Hydrological Sciences Journal* 61, 2110–2132. Online: <https://doi.org/10.1080/02626667.2015.1085989>.
- Vauchel, P. (2005). *Hydraccess: Software for Management and processing of Hydro-meteorological data software, Version 2.1.4*.
- Vrieling, A., J. C. B. Hoedjes y M. van der Velde (2014). «Towards large-scale monitoring of soil erosion in Africa: Accounting for the dynamics of rainfall erosivity». En: *Global and Planetary Change* 115, 33–43. Online: <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2014.01.009>.
- Yashwant, S. y S.L. Sananse (2015). «Comparisons of Different Methods of Cluster Analysis with Application to Rainfall Data». En: *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology* 4.11, 10861-10872. online: <https://bit.ly/347RXre>.
- Zeleňáková, M. y col. (2016). «Monthly Trends of Precipitation in Gauging Stations in Slovakia». En: *Procedia Engineering* 162, 106–111. Online: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.11.023>.
- Zubietta, R. y col. (2015). «Impacts of Satellite-based Precipitation Datasets on Rainfall-Runoff Modeling of the Western Amazon Basin of Peru and Ecuador». En: *Journal of Hydrology* 528, 599-612. Online: <https://bit.ly/30J71JQ>.
- Zubietta, R. y col. (2016). «Spatial analysis and temporal trends of daily precipitation concentration in the Mantaro River basin: central Andes of

Peru». En: *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 1-14. Online: <https://doi.org/10.1007/s00477-016-1235-5>.

Zubieta, R. y col. (2019). «Assessing precipitation concentration in the Amazon basin from different satellite-based datasets». En: *Int. J. Climatol* 39, 3171– 3187. Online: <https://doi.org/10.1002/joc.6009>.



CARACTERIZACIÓN DEL ACEITE DE LA SEMILLA DE SACHA INCHI (*plukenetia volubilis*) DEL CANTÓN SAN VICENTE, MANABÍ, ECUADOR, OBTENIDA MEDIANTE PROCESOS NO TÉRMICOS DE EXTRUSIÓN

CHARACTERIZATION OF SACHA INCHI SEED OIL (*plukenetia volubilis*) FROM "CANTON SAN VICENTE, MANABÍ, ECUADOR", OBTAINED BY NON-THERMAL EXTRUSION PROCESSES

Luis Eduardo Romero Hidalgo^{id}, Carlos Jefferson Valdiviezo Rogel^{id} y Stefanie Michelle Bonilla Bermeo^{id}

Facultad de Ingeniería Química, Universidad de Guayaquil. Av. Delta y Av. Kennedy Guayaquil, Ecuador.

*Autor para correspondencia: luis.romeroh@ug.edu.ec

Manuscrito recibido el 23 de enero de 2019. Aceptado, tras revisión, el 16 de julio de 2019. Publicado el 1 de septiembre de 2019.

Resumen

Sacha Inchi (*Plukenetia Volubilis*) es una planta originaria de Perú. El fruto es una semilla oleaginosa la cual posee un alto contenido de ácidos grasos polinsaturados, en la cual se destaca el omega (α) 3 y 6. Para la extracción de este aceite se utilizó el método de compresión por extrusión, utilizando un tornillo sinfín lo que hace aumentar la presión de la masa, separando así el aceite contenido dentro de la semilla. Para esto, se utilizó un extractor experimental el cual fue adaptado y puesto en marcha para la obtención de este aceite, extrayéndolo a temperatura ambiente. Con la finalidad de establecer las características fisicoquímicas de la semilla se realizaron análisis de humedad, fibra, ceniza, grasa y proteína. Una vez extraído el aceite se calculó los rendimientos y se realizaron análisis de: índice de acidez, densidad relativa, índice de Yodo, índice de Peróxido y perfil de ácidos grasos. Estos resultados se compararon con análisis realizados al aceite de la misma especie, pero de diferentes zonas de cultivo del Perú, aceite de pescado y oliva, los cuales se los conoce por su alto contenido de ácidos grasos, dejando como resultado que el aceite de Sacha Inchi presenta un alto contenido de ácidos grasos polisaturados y que el método de extracción influye en la calidad del producto.

Palabras clave: Sacha Inchi, extrusión, índice de peróxido, ácido graso insaturado, índice de yodo.

Abstract

Sacha Inchi (*Plukenetia Volubilis*) (SI) is a plant native from Peru. The fruit of this plant is an oilseed than contains a high content of oil which is rich in unsaturated fatty acids (91.6%), being one of the seeds that contain this type of fat in higher percentage. For the extraction of this oil, the extrusion method was used, using an endless screw that allows the pressure increase in the dough, separating the oil contained in the seed. For this, an experimental extractor was adapted and put into operation to obtain this oil, extracting it at room temperature. To analyze the physicochemical characteristics of the seed, moisture, fiber, ash, fat and protein analyzes were conducted. Once the oil was obtained, the yields were calculated, and the following analyzes were performed: acid index, relative density, iodine value, peroxide index and fatty acid profile. Those results were compared with the analysis made to olive and fish oil, known for their high content of fatty acids, resulting that Sacha Inchi oil is better in both quality indexes, as in percentage of unsaturated fatty acids.

Keywords: Sacha Inchi, extrusion, peroxide index, unsaturated fatty acid, iodine index.

Forma sugerida de citar: Romero H., L.E., Valdiviezo R., C. y Bonilla R., S. (2019). Caracterización del aceite de la semilla de Sacha Inchi (*plukenetia volubilis*) del cantón San Vicente, Manabí, Ecuador, obtenida mediante procesos no térmicos de extrusión. *La Granja: Revista de Ciencias de la Vida*. Vol. 30(2):77-87. <http://doi.org/10.17163/lgr.n30.2019.07>.

IDs Orcid:

Luis Eduardo Romero Hidalgo: <https://orcid.org/0000-0002-2417-4836>

Carlos Jefferson Valdiviezo Rogel: <https://orcid.org/0000-0002-6550-9751>

Stefanie Michelle Bonilla Bermeo: <https://orcid.org/0000-0002-9391-3698>

1 Introducción

Sacha inchi (SI) (*Plukenetia volubilis* Linnaeus), conocido también como, maní silvestre, maní del Inca, maní sachá o montaña maní, es una planta oleaginosa que pertenece a la familia de las Euphorbiaceae. En un principio y hasta la actualidad ha sido cultivado en las tierras bajas de la amazonía peruana, y siendo plantado durante siglos por la población indígena, ha sido un componente de la dieta de varios grupos nativos de la región (Gutiérrez, Rosada y Jiménez, 2011; Chirinos y col., 2013). Según Muangrat, Veeraphong y Chantee, (2018) el porcentaje de obtención de este aceite prensado a 60 °C es 37,97 %, el cual tiene un porcentaje aproximado de 92 % de ácidos grasos poliinsaturados (AGP) como ácido alfa linolénico (18:3n-3, ácido α -linolénico) y ácido linoleico (18:2n-6, ácido linoleico) (Fanali y col., 2011; Cisneros y col., 2014). Este tipo de ácidos grasos presenta una o varias ligaduras entre sus carbonos, y dependiendo de su ubicación se los denomina α -3, 6 o 9 BADUI (Araujo-Dairiki, Chaves y Dairiki, 2018).

Estos ácidos grasos tienen efectos beneficiosos que incluyen la capacidad de disminuir los niveles de glicéridos, prevenir los trastornos cardiovasculares y una acción antitrombótica; además ciertos experimentos han demostrado que este aceite tiene una alta capacidad antioxidante, ayudando a reducir el daño del ADN debido a la oxidación (Takeyama y Fukushima, 2013). Últimamente el interés por estos nutrientes ha aumentado, demostrándose así que la ingesta de grasa depende de la calidad de esta, es decir del tipo de ácido graso predominante (Carrillo Fernández y col., 2011). De esta forma, el estudio del SI se convierte en un reto tanto como material oleaginoso y también por las funcionalidades biológicas que podrían derivar de su aceite y/o de sus extractos (T. y col., 2012).

Por otra parte, el consumo de aceite de oliva (AO) ha incrementado debido a los beneficios de los aceites vegetales por la composición del AO, el cual tiene en su interior una gran cantidad de ácidos grasos monoinsaturados, en particular ácido oleico. Además, de estar presentes el ácido α -linolénico (α -3) y ácido linoleico (α -6) los cuales son requeridos por el cuerpo humano y no puede sintetizar (Piscopo y col., 2016). Actualmente, el aceite de pescado en capsulas es comercializado globalmente debido a que es rico en ácidos grasos poliinsaturados

α -3 [40.91 % según Paucar-Menacho y col., (2015)], ácido eicosapentaenoico (EPA) (20: 5, n-3) y ácido docosahexaenoico (DHA) (22: 6, n-3) (Tempel y col., 1990). Sin embargo, la contaminación ambiental ha provocado la acumulación de metales pesados y dioxinas en los peces, y debido a esto se cuestionan los beneficios de obtener ácidos grasos insaturados a partir de peces (Maurer y col., 2012).

Las personas que no pueden comer pescado diariamente o lo hacen con poca frecuencia pueden complementar su ingesta de ácidos grasos α -3 con aceites vegetales (Strobel, Jahreis y Kuhnt, 2012). Sin embargo, como estos ácidos grasos se oxidan fácilmente a altas temperaturas, sus potenciales aplicaciones son limitadas. Como tal, el análisis de nuevas fuentes de ácidos grasos α -3, sería extremadamente beneficioso desde el punto de vista de la salud humana (Takeyama y Fukushima, 2013).

El objetivo de este estudio es extraer el aceite de SI por un prensado en frío y realizar su caracterización para luego poder comparar los aceites ricos en ácidos grasos insaturados, como son el aceite de pescado y el aceite de oliva.

2 Materiales y métodos

2.1 Proceso de obtención del aceite

Las semillas de SI (*Plukenetia volubilis* Linnaeus) procedentes del cantón San Vicente, Manabí, Ecuador, una vez cultivadas se almacenaron herméticamente, luego se procedió a extraer la cascara de la semilla de forma manual y dejarla lista para su análisis y procesos de extracción. Finalmente, para separar la masa seca no lipídica de la parte oleosa se usó un extrusor de marca "Piteba" de origen holandés, en el cual su limitación radica en el uso semillas con contenido de grasas totales de más del 25 % de peso bruto. Según Fanali y col., (2011) la presencia de aceite en la semilla de SI es entre el 37 % al 47 %. Esta extracción se realizó a temperatura ambiente, con la finalidad de generar el menor impacto posible a las estructuras insaturadas de los ácidos grasos. Una vez extraído el aceite crudo, el cual presenta sólidos en suspensión debido a que durante el proceso de extrusión ciertas partículas de material sólido son retenidas, se deja reposar unas horas en un recipiente debidamente sellado y sin luz para evitar la oxidación acelerada del mismo; una vez separadas las dos fases (sólida de la seca) se procede a la fil-

tracción de la primera capa con papel filtro estándar, como se aprecia en la Figura 1. dejando así el aceite listo para su almacenamiento

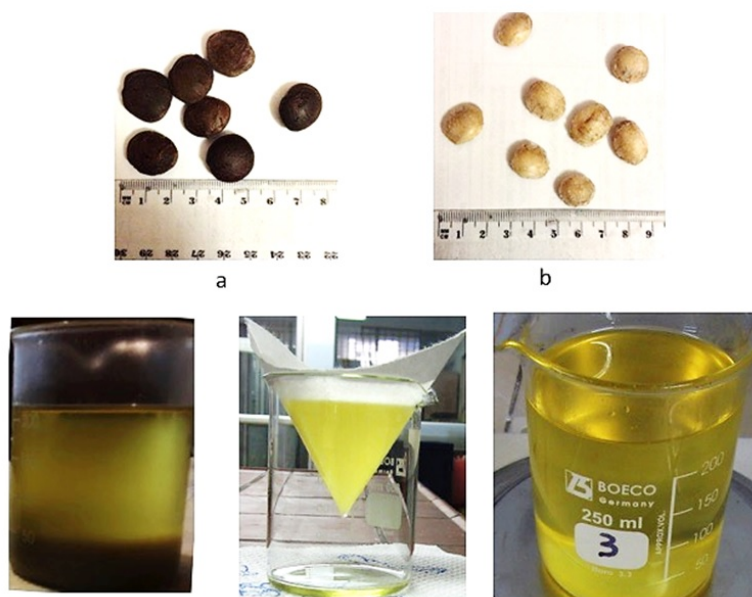


Figura 1. a) Semilla de SI con cascara. b) Semilla de SI sin cascara. c) Producto obtenido después de la extrusión. d) Filtrado del aceite.

2.1.1 Análisis físico químico de la semilla de Sacha Inchi

Cada ensayo se realizó siguiendo los parámetros de la Official Methods of Analysis of AOAC International y de la American Oil Chemists' Society (AOCS). En el caso de necesitar pesar una muestra se usó una balanza AE Adam de máxima capacidad 1000 gramos, la cual estaba debidamente calibrada.

2.1.2 Porcentaje de humedad

Siguiendo los lineamientos del método AOCS-94 Cde 13a-63 se pesaron aproximadamente 5 gramos, luego se llevaron a una estufa Thermo Fisher Scientific por aproximadamente 5 horas a 110 °C para luego volver a ser pesadas. Mediante la Ecuación (1) determinó el porcentaje de humedad existente en la muestra.

$$\% \text{Humedad} = \left(1 - \frac{\text{Peso de muestra seca (g)}}{\text{Peso de muestra húmeda (g)}} \right) * 100 \quad (1)$$

2.1.3 Determinación de grasa

Para este tipo de análisis se siguió el método AOAC 18th 922.06 en el cual se pesaron 2 gramos de la muestra posterior a la extracción la humedad, y mediante la extracción soxhlet se separó la grasa cruda de la muestra y posteriormente se pesó la misma, y utilizando la Ecuación (2) se determinó el porcentaje de grasa total de la muestra.

$$\% \text{Grasa} = \frac{\text{Peso de grasa obtenida (g)}}{\text{Peso de la muestra de semilla (g)}} * 100 \quad (2)$$

2.1.4 Porcentaje de fibra cruda y ceniza

Para la determinación de fibra se siguieron los parámetros del método AOAC, 2005, 962.09 usando ácido sulfúrico diluido al 1,25%, solución de hidróxido de sodio al 1,25%, alcohol etílico al 95% y éter de petróleo. El porcentaje de ceniza se determinó por el método AOCS-94 Ba 5-4 en el cual se usó una mufla Thermo scientific Lindbergh blue m.

2.1.5 Porcentaje de proteína

Para este tipo de ensayo se utilizó un analizador Flash 2000 de marca Thermo Fisher Scientific, en el cual se pesó 1 miligramo de la muestra y se llevó a la entrada del instrumento, luego se combusionó alrededor de 900°C y posteriormente se realizó una columna en forma de serpentín y finalmente se detectaron por un Detector de Conductividad Térmica (TCD), el cual automáticamente brinda los datos de porcentaje de proteína.

2.2 Análisis físico químico del aceite

Para estos análisis también se utilizaron los lineamientos descritos en el punto 2.1. En el caso de necesitar pesar una muestra se usó una balanza AE Adam de máxima capacidad 1000 gramos, la cual estaba debidamente calibrada.

2.3 Índice de acidez libre

De conformidad con el método AOCS-94 Cd 3a-63, este se realizó por titulación directa; se pesaron 10 gramos de la muestra de aceite en un Erlenmeyer y se añadieron 50 ml de alcohol etílico, luego se agregaron alrededor de 3 gotas de indicador fenolftaleína. Posteriormente se tituló con una solución de hidróxido de sodio (NaOH) 0,1 N hasta observar el cambio de color a rosa. Finalmente se realizó el cálculo con la Ecuación (3). Donde IA es el índice de acidez, V es el volumen en ml de la solución de NaOH valorada utilizados para neutralizar los ácidos grasos libres de la muestra, N es la concentración normal de NaOH y W el peso en gramos de la muestra de aceite.

$$IA = \frac{V * N * 56,1}{W} \quad (3)$$

2.3.1 Determinación de densidad relativa

Para este análisis se usó el método AOAC-90 920-212. En una probeta debidamente tarada se colocan 100 ml de la muestra de aceite y luego se pesó esta cantidad para así obtener el resultado con la Ecuación (4) obteniendo el mismo en las unidades de gr/ml.

$$\% \text{Densidad relativa} = \frac{\text{Peso del aceite}(g)}{100 \text{ ml}} \quad (4)$$

2.3.2 Índice de peróxido

Siguiendo los lineamientos del método AOAC-90 965-33, primero se pesaron dos gramos de la muestra de aceite, luego se añadieron 24 ml de solución 1:3 cloroformo-ácido acético, posteriormente se añadieron 0,4 ml de solución yoduro de potasio y 24 ml de agua destilada, se valoró la solución de tiosulfato de sodio con permanganato de potasio al 0,01 N y se continuó con la titulación hasta que desapareció el color azul. Se calculó el índice de peróxido con la Ecuación (5) y el resultado arroja miliequivalentes de oxígeno activo por kilogramos de grasa. Donde IP es el índice de peróxido, V son los mililitros de solución valorada de tiosulfato de sodio empleados en el ensayo, V son los mililitros de solución valorada de tiosulfato de sodio consumidos en el blanco, N es la normalidad de la disolución de tiosulfato de sodio y P es el peso en gramos de la muestra. Simultáneamente se realizó un blanco realizando el mismo procedimiento con agua.

$$IP = \frac{(V - V') * N * 1000}{P} \quad (5)$$

Este ensayo se realizó durante 13 días con el propósito de estudiar el avance de la oxidación de este aceite a la intemperie, temperatura ambiente y a la exposición a la luz. Los análisis se llevaron a cabo en los días 1-4-6-8-11-13. Se utilizaron barras de error como método de análisis estadístico.

2.3.3 Índice de Yodo

La medición de este parámetro se realizó de acuerdo a los parámetros establecidos en el método AOAC-90 920-159. Primero se pesó 0,1 g de aceite de SI en un Erlenmeyer de 250 ml, el aceite se disolvió en 10 ml de cloroformo y 10 ml de la solución de Wijs, luego se dejó reposar 30 minutos en la oscuridad agitándolo ocasionalmente, posteriormente se añadieron 5 ml de solución de yoduro de potasio al 15 %, se agitó vigorosamente y se añadieron 100 ml de agua recién hervida y enfriada, lavando cualquier residuo de la solución existente en los bordes.

Finalmente se tituló con tiosulfato de sodio 0,1 N y se empleó almidón como indicador. Paralelamente se realizó un análisis de una muestra en blanco. El cálculo del índice de yodo se realizó con la Ecuación (6). En el cual V_s son los mililitros de tiosulfato de sodio usados en el blanco, V_m son los mililitros

de tiosulfato de sodio usados en la muestra y N es la normalidad del tiosulfato de sodio.

$$\text{Índice de Yodo} = \frac{(V_s - V_m) * N * 12,67}{\text{peso de la muestra}} \quad (6)$$

2.4 Perfil de ácidos grasos

Se realizó de acuerdo con el procedimiento AOCS Ce 1B-89 usando un cromatógrafo de gases de marca TRACE 1310 Mainframe con una columna capilar Trace™ TR-FAME 260M137P (25m x 0,32mm x 0.25um). Las condiciones de trabajo se realizaron según describe en Wang y Kakuda, (2018).

2.5 Análisis estadístico

Para los análisis fisicoquímicos de la semilla y el aceite se hicieron tres repeticiones de cada uno, y se obtuvieron las medias con sus respectivas desviaciones estándar. Además, se hizo un análisis estadístico usando la prueba ANOVA de Tukey usando el programa de Real Statistics para determinar las posibles diferencias significativas a nivel $p < 0,05$. Para la elaboración de gráficos se utilizó el software 'R'.

3 Resultados y Discusión

3.1 Rendimientos en la extracción del aceite de la semilla de Sacha Inchi

Como se aprecia en la Tabla 1, se puede observar que tomando 1000 gramos de semilla de SI se pierde gran cantidad de este peso total en la cascara, por lo cual se tomará el peso de la semilla sin cascara como base de cálculo para los demás parámetros. La masa seca (residuo de la extracción) obtenida después de la extracción (68,08%) arroja un valor muy alto, por lo cual representa un porcentaje muy importante ya que se puede usar posteriormente. El porcentaje de rendimiento de aceite que se observa en la Tabla 1 es de 26,92 %, el cual comparado con los resultados obtenidos por Muangrat, Veeraphong y Chantee, (2018) quien obtuvo rendimientos

de aceite entre 37,97% a 40,63%, se evidencia que el rendimiento en este estudio fue menor, debido a que durante la extracción del aceite no se elevó la temperatura en esta investigación.

3.2 Análisis fisicoquímico de la semilla de Sacha Inchi

Como se puede observar en la Tabla 2, esta semilla contiene un alto contenido de aceite: 42,0% el cual según Wang y Kakuda, (2018) se encuentra en el rango estimado (33,4% - 54,3%). La cantidad de proteína: 29,78%, da a entender que esta semilla después de haber extraído el aceite quedará con un remanente de proteína muy alto. El porcentaje de ceniza es de 2,9% que es un poco menor según lo reportado por Gutiérrez, Rosada y Jiménez, (2011) el cual obtuvo un porcentaje de 4%. La cantidad de humedad es relativamente baja: 6,72% ya que se trata de un fruto seco, según James, (1995) se encuentra dentro del rango 0-10% para procesamiento y almacenamiento sin degradación de microorganismos a los triacilgliceridos. La cantidad de fibra obtenida en este estudio fue de 18% en base seca, el cual es mayor al reportado por Muangrat, Veeraphong y Chantee, (2018), quien obtuvo un porcentaje de 13,86% en base seca.

3.3 Análisis físico químico del aceite de la semilla de Sacha Inchi

3.3.1 Índice de Acidez

Según se observa en la Tabla 3, el índice de acidez de este aceite es 0,38 mg KOH/g. Según FAO/OMS, (2015) no debe ser mayor a 4 mg NaOH/g para aceites vegetales prensados en frío. La baja acidez de este ácido refleja la escasa refinación y la buena calidad del aceite de SI, en comparación con el aceite de oliva que según Paucar-Menacho y col., (2015) tiene un valor de 1,14 mg NaOH/g, y el aceite de pescado que según Nascimento V. y col., (2015) tiene un valor de 11,72 mg NaOH/g, se puede corroborar la buena calidad de este aceite.

3.3.2 Densidad relativa

El resultado de este parámetro en la Tabla 3 arroja un valor de 0,91, el cual demuestra que este aceite

es ligero. Según Gutiérrez, Rosada y Jiménez, (2011) esto se debe a la cantidad de ácidos grasos insaturados presentes en el mismo, comparándolo con el

Tabla 1. Rendimientos en la obtención del aceite de la semilla de SI.

Aceite obtenido (%p/p)	Sedimentos (%p/p)	Residuo de semilla (%p/p)	Semilla sin cáscara (g)	Cáscara (g)	Semilla con cáscara (g)
26,93 ±1,67	3,8±0,18	68,08 ±7,46	653,17 ±13,83	347,2 ±14,4	1000,3 ±0,6

aceite de oliva que según Paucar-Menacho y col., (2015) da un valor de 0,9252, existiendo una similitud entre estos dos aceites debido a la alta insaturación en ambos.

Tabla 2. Características fisicoquímicas de la semilla de SI

Característica	Semilla de SI
Humedad	6,72 ±0,1
Grasa	42,03 ±0,2
Ceniza	2,9 ±0,025
Fibra	18,0 ±0,095
Proteína	29,78 ±1,6

3.3.3 Índice de Yodo

Según Muangrat, Veeraphong y Chantee, (2018), esta característica del aceite está relacionada con el grado de insaturación del mismo, que como se puede observar en la Tabla 3 arroja un valor de 192,5 I2/100g. Haciendo una comparación según lo re-

portado por Paucar-Menacho y col., (2015) para el aceite de oliva (56,15 g I2/100 g) y por Nascimento V. y col., (2015) para el aceite de pescado (93,92 g I2/100 g), demuestra un valor muy alto en el índice de yodo para el aceite de SI, reflejando así que este aceite tiene una mayor insaturación en comparación a los otros dos aceites.

Tabla 3. Características físicoquímicas del aceite de SI

Propiedad	Tipo de aceite		
	Sacha Inchi	Oliva	Pescado ³
Índice de acidez (mg KOH/g)	0,38 ± 0,02	1,14 ± 0,037 ¹	11,72 ± 0,1
Densidad relativa	0,91	0,9252 ± 0,0014 ¹	N/D
Índice de peróxido (m-eq O ₂ /Kg)	5,81 ± 0,5	6,91 ± 3,44 ²	7,22 ± 1,1
Índice de Yodo (I ₂ /100g)	192,5 ± 0,7	56,15 ± 0,14 ¹	93,92 ± 0,7

¹(Paucar-Menacho y col., 2015), ²(Piscopo y col., 2016), ³(Nascimento V. y col., 2015).

3.3.4 Índice de peróxido

Según indica Cebi y col., (2017) este ensayo mide directamente la concentración de hidropéroxido, que es el resultado del producto de oxidación primario en la oxidación de productos, que según FAO/OMS, (2015) no debe de exceder de 10 mili-

equivalentes de peróxido de oxígeno / kg en el caso de aceites vegetales y de origen animal. El resultado obtenido en este estudio fue de 5,81 m-eq O₂/Kg, el cual arroja un valor menor en comparación al aceite de oliva con un valor de 6,91 m-eq O₂/Kg según Piscopo y col., (2016), y con el aceite de pescado con un valor de 7,22 m-eq O₂/Kg según Nascimento V.

y col., (2015).

Para conocer que tan vulnerable es el aceite de SI a la oxidación se realizaron los procedimientos descritos en el punto 2.2.3 a temperatura ambiente (25°C), dando como resultado que este aceite es sensible a desarrollar rancidez si está expuesto prolongadamente a la luz y a la intemperie. Según lo reportado por Takeyama y Fukushima, (2013) quienes expusieron el aceite a una radiación UV de 300 nm por 15 días y obtuvieron un incremento de la oxi-

dación del mismo, llegando a valores de 250 m-eq O_2/Kg . Según lo reportado por Maurer y col., (2012) quienes obtuvieron un valor de 100 m-eq O_2/Kg a 65°C durante 15 días, que es muy diferente en comparación al análisis realizado en esta investigación, el cual fue llevado a cabo a 25°C (16 m-eq O_2/Kg durante 15 días). Todos estos resultados indican que este aceite tiene una gran sensibilidad a la oxidación debido a la exposición a la luz ultravioleta y a la temperatura.

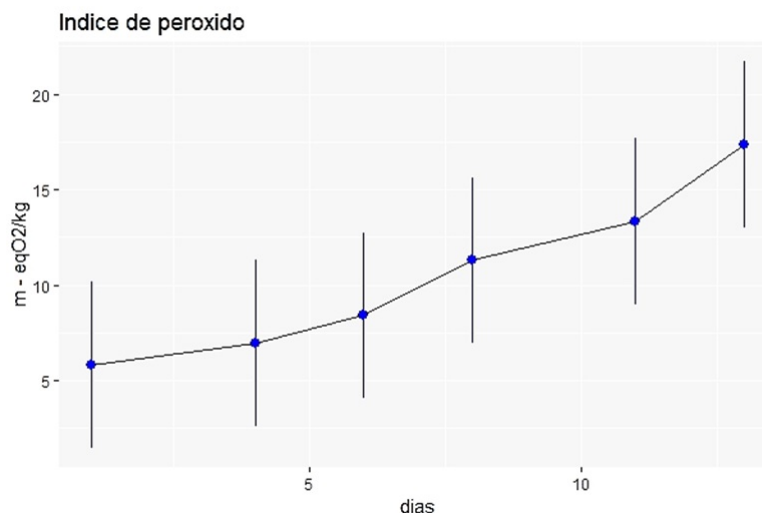


Figura 2. Índice de oxidación (m-eq O_2/Kg) vs tiempo (días).

3.4 Perfil de ácidos grasos

El perfil de ácidos grasos se puede observar en la Tabla 4. En los tres aceites se puede apreciar el alto contenido de ácidos grasos insaturados, siendo el más alto el de SI (90,63%) muy parecido al reportado por Fanali y col., (2011) quienes obtuvieron un valor de 92%. Dentro de ellos el ácido linolénico α -3 (38,84%) es el de mayor presencia, el cual ayuda a disminuir el riesgo de enfermedades cardiovasculares en seres humanos (Araujo-Dairiki, Chaves y Dairiki, 2018). El ácido graso linoleico α -6 es el segundo con mayor porcentaje dentro del aceite de SI (34,67%), el cual contribuye a la prevención de enfermedades inflamatorias (Saiki y col., 2017) y disminuye la grasa corporal en niños (Racine y col., 2010). Además, comparando con los valores obtenidos en este ensayo con los brindados por Cisneros y col., (2014), se observa que existe una pequeña

diferencia en la composición de ácidos grasos, llegando a valores más altos en el ácido linolénico α -3 (48,2%) y decreciendo en el ácido oleico α -9 (8,9%). En el ácido linoleico α -6 no existe diferencia significativa.

Según Romero Aroca, (2011) el aceite de oliva tiene un porcentaje total de saturados del 15,88% y para insaturados tiene un porcentaje total del 83,92%, recalando que el ácido oleico α -9 es el de mayor presencia en este tipo de aceites, obteniendo un porcentaje de 71,22%, el cual es estable a la oxidación debido a que es un ácido graso con solo un doble enlace (Paucar-Menacho y col., 2015). Según Paucar-Menacho y col., (2015) el perfil de ácidos grasos del aceite de pescado tiene un porcentaje total de saturados de 37,42% y para insaturados tiene un porcentaje total del 62,58%. Cabe recalcar que el ácido linolénico α -3 es el de mayor presencia en

este tipo de aceite, alcanzando un 40,91 %.

Realizando una comparación entre estos tres aceites se puede observar que el aceite de SI brinda una mayor cantidad de ácidos grasos insaturados, los cuales difieren en la cantidad entre ácido linolénico α -3, linoleico α -6 y oleico α -9, siendo los dos primeros los de mayor presencia. Se puede afirmar

que el aceite de SI tiene un efecto beneficioso para la salud, reduciendo la cantidad de triglicéridos en la sangre, pudiendo de ayuda en el control de ciertas enfermedades como la diabetes mellitus, la obesidad y sirviendo también como posibles agentes citotóxicos para ciertas células tumorales (Rodríguez-Cruz y col., 2005).

Tabla 4. Perfil de ácidos grasos de los aceites.

Perfil de ácidos grasos				
Composición de ácido graso	Sacha Inchi(%)	Sacha Inchi(%) ¹	Oliva(%) ²	Pescado(%) ³
C14:0	N.D	N.D	N.D	10,22
C16:0	5,44	4,7	13,56	22,8
C16:1	N.D	N.D	1,43	10,54
C17:0	N.D	N.D	242	0,85
C18:0	3,94	3,3	1,86	4,4
C18:1	17,12	8,9	71,22	9,62
C18:2	34,67	34,1	10,13	1,51
C18:3	38,84	48,2	618	0,99
C20:0	N.D	N.D	356	N.D
C20:5n3	N.D	N.D	N.D	20,28
C22:6n3	N.D	N.D	N.D	19,64
C20:1	N.D	N.D	284	2,56
C20:2	N.D	N.D	102	N.D
C22:1	N.D	N.D	N.D	1,62
Total α -3	38,84	48,2	618	40,91
Total α -6	34,67	34,1	10,13	1,51
Total α -9	17,12	8,9	71,22	9,62
Total Saturados	9,38	8	15,88	37,42
Total Insaturados	90,63	91,2	83,92	62,58
Total mono insaturados	17,12	8,9	73,17	20,16
Total Poli insaturados	73,51	82,3	10,75	42,42

¹ (Cisneros y col., 2014), ² (Romero Aroca, 2011), ³ (Pauca-Menacho y col., 2015).

4 Conclusiones

El porcentaje de extracción de aceite por extrusión (26,92%) comparado al obtenido en los análisis físico-químicos (42,03%) demuestra que este método de extracción tiene un rendimiento bajo, teniendo como alternativa otros tipos de extracción para obtener más aceite. La semilla de SI tiene un alto contenido de aceite en su interior, y gracias a los estudios realizados en este ensayo se logró determinar que contiene un alto contenido de ácidos grasos insaturados (90,63%), comparándolo con los resultados obtenidos con semillas provenientes de Perú,

se observa una ligera varianza en los ácidos grasos linolénico (9,36% de diferencia) y oleico (8,22% de diferencia), llegando a concluir que la composición de ácidos grasos poliinsaturados y monoinsaturados varía dependiendo de la procedencia de la semilla.

Al compararlo con los aceites de oliva y pescado los cuales comúnmente se conocen por su alto nivel de insaturación, se observa que este tiene un nivel más alto de ácidos grasos poliinsaturados: 62,76% de diferencia en comparación con el aceite de oliva y 31,09% de diferencia en comparación con el aceite

de pescado. Sin embargo, el aceite de oliva es rico en ácido oleico α -9 y el aceite de pescado en ácido linolénico α -3, los cuales son beneficiosos dependiendo de la necesidad del consumidor.

Al realizar un análisis fisicoquímico de los tres aceites se pudo determinar que la calidad del aceite de SI es mayor en comparación a los otros dos aceites, al ser un producto menos procesado y más ligero. Debido al alto contenido de proteína presente en el aceite de SI, se recomienda realizar un estudio posterior para obtener un posible producto a partir del residuo después de la extracción de aceite.

Referencias





- Araujo-Dairiki, T., F. Chaves y J. Dairiki (2018). «Seeds of sacha inchi (*Plukenetia volubilis*, Euphorbiaceae) as a feed ingredient for juvenile tambaqui, *Colossoma macropomum*, and matrinxã, *Brycon amazonicus* (Characidae)». En: *Acta Amazonica* 48.1, 32-37. Online: <https://bit.ly/2YTCzL4>.
- Carrillo Fernández, L. y col. (2011). «Grasas de la dieta y salud cardiovascular». En: *Clínica e Investigación en Arteriosclerosis* 23, 1-36. Online: <https://bit.ly/2KnftZL>.
- Cebi, N. y col. (2017). «Prediction of peroxide value in omega-3 rich microalgae oil by ATR-FTIR spectroscopy combined with chemometrics». En: *Food chemistry* 225, 188-196. Online: <https://bit.ly/2YzxyMG>.
- Chirinos, R. y col. (2013). «Sacha inchi (*Plukenetia volubilis*): a seed source of polyunsaturated fatty acids, tocopherols, phytosterols, phenolic compounds and antioxidant capacity». En: *Food chemistry* 141.3, 1732-1739. Online: <https://bit.ly/2ZLntsC>.
- Cisneros, F. y col. (2014). «Chemical composition, oxidative stability and antioxidant capacity of oil extracted from roasted seeds of Sacha-Inchi (*Plukenetia volubilis* L.)». En: *Journal of agricultural and food chemistry* 62.22, 5191-5197. Online: <https://bit.ly/2ZHDkrV>.
- FAO/OMS (2015). «Norma para aceites vegetales especificados, Codex Alimentarius.» En: *Normas internacionales de los alimentos*, 1-14. Online: <https://bit.ly/2M79PN9>.
- Fanali, C. y col. (2011). «Chemical characterization of Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L.) oil». En: *Journal of agricultural and food chemistry* 59.24, 13043-13049. Online: <https://bit.ly/2KIW1Mw>.
- Gutiérrez, L., L. Rosada y A. Jiménez (2011). «Chemical composition of Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L.) seeds and characteristics of their lipid fraction». En: *Grasas y aceites* 62.1, 76-83. Online: <https://bit.ly/2yKSWPs>.
- James, C. (1995). *Analytical Chemistry of Foods*. Vol. Online: <https://bit.ly/2GVhR7E>. New York: Chapman y Hall publishers.
- Maurer, N. y col. (2012). «Characterization and authentication of a novel vegetable source of omega-3 fatty acids, sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.) oil». En: *Food chemistry* 134.2, 1173-1180. Online: <https://bit.ly/2GT985G>.
- Muangrat, R., P. Veeraphong y N. Chantee (2018). «Screw press extraction of Sacha inchi seeds: Oil yield and its chemical composition and antioxidant properties». En: *Journal of food processing and preservation* 42.6, 1-10. Online: <https://bit.ly/2GTgiqG>.
- Nascimento V., L.V. y col. (2015). «Characterization of a hydrolyzed oil obtained from fish waste for nutraceutical application». En: *Food Science and Technology* 35.2, 321-325. Online: <https://bit.ly/2GWTyWK>.
- Paucar-Menacho, L. M. y col. (2015). «Comparative study of physical-chemical features of sacha inchi oil (*Plukenetia volubilis* L.), olive oil (*Olea europaea*) and fish oil». En: *Scientia agropecuaria* 6.4, 279-290. Online: <https://bit.ly/2MOWYDw>.
- Piscopo, A. y col. (2016). «Characterization of monovarietal olive oils obtained from mills of Calabria region (Southern Italy)». En: *Food chemistry* 213, 313-318. Online: <https://bit.ly/2YULHPE>.
- Racine, N.M. y col. (2010). «Effect of conjugated linoleic acid on body fat accretion in overweight or obese children». En: *The American journal of clinical nutrition* 91.5, 1157-1164. Online: <https://bit.ly/2TemiPX>.
- Rodríguez-Cruz, Maricela y col. (2005). «Mecanismos moleculares de acción de los ácidos grasos poliinsaturados y sus beneficios en la salud». En: *Revista de investigación clínica* 57.3, 457-472. Online: <https://bit.ly/2MOjc40>.
- Romero Aroca, A.J. (2011). «Caracterización y diferenciación de los aceites vírgenes de oliva de la comarca del Priorat (Tarragona) dentro del mercado global de aceites de la varie-

- dad'Arbequina'». Tesis doct. Online:<https://bit.ly/2YwJqyV>: Universitat de Lleida.
- Saiki, P. y col. (2017). «The anti-inflammatory effect of *Agaricus brasiliensis* is partly due to its linoleic acid content». En: *Food & function* 8.11, 4150-4158. Online:<https://rsc.li/2yNoXXb>.
- Strobel, C., G. Jahreis y K. Kuhnt (2012). «Survey of n-3 and n-6 polyunsaturated fatty acids in fish and fish products». En: *Lipids in Health and Disease* 11.1, 144. Online:<https://bit.ly/2YUifgN>.
- T., D. L. Castaño y col. (2012). «Fatty acid composition of Inca peanut (*Plukenetia volubilis* linneo) and its relationship with vegetal bioactivity». En: *Revista Chilena de Nutrición* 39.1, 45-52. Online:<https://bit.ly/31rIJE8>.
- Takeyama, E. y M. Fukushima (2013). «Physicochemical properties of *Plukenetia volubilis* L. seeds and oxidative stability of cold-pressed oil (green nut oil)». En: *Food Science and Technology Research* 19.5, 875-882. Online:<https://bit.ly/2KCNfjf>.
- Tempel, H. van der y col. (1990). «Effects of fish oil supplementation in rheumatoid arthritis.» En: *Annals of the rheumatic diseases* 49.2, 76-80. Online:<https://bit.ly/2TgXW7X>.
- Wang S.; Zhu, F. y Yukio Kakuda (2018). «Sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.): Nutritional composition, biological activity, and uses». En: *Food chemistry* 265, 316-328. Online:<https://bit.ly/2GTbrpm>.



DETECCIÓN DE ANTIBIÓTICOS BETALACTÁMICOS, TETRACICLINAS Y SULFAMIDAS COMO CONTAMINANTES EMERGENTES EN LOS RÍOS SAN PEDRO Y PITA DEL CANTÓN RUMIÑAHUI

DETECTION OF BETALACTAMIC ANTIBIOTICS, TETRACYCLINES AND SULFAMIDES AS EMERGING POLLUTANTS IN THE RIVERS SAN PEDRO AND PITA OF THE CANTON RUMIÑAHUI

Lenin Javier Ramírez Cando^{*1,2} , Sabrina Estefania Chicaiza Ramírez¹ ,
Allan David Ramos López¹  y César Iván Álvarez¹ 

¹ Grupo de Investigación Ambiental en el Desarrollo Sustentable GIADES, Carrera de Ingeniería Ambiental, Universidad Politécnica Salesiana, Av. Moran Valverde y Rumichaca, Quito, Ecuador

² Facultad de Ciencias Químicas, Universidad de Guayaquil, Av. Delta-Ciudadela Universitaria, Guayaquil, Ecuador

*Autor para correspondencia: lenin.ramirez@ug.edu.ec

Manuscrito recibido el 20 de julio de 2018. Aceptado, tras revisión, el 26 de febrero de 2019. Publicado el 1 de septiembre de 2019.

Resumen

Las actividades que se realizan en el diario vivir, como la higiene personal o el cuidado de la salud, pueden provocar efectos negativos en el ecosistema, generando alteraciones sobre el medio ambiente, dado que se consumen varias sustancias de diferente origen y composición química, de estas sustancias se conoce relativamente poco con respecto al impacto que tendrá en el ambiente y en el ser humano, sustancias que son reconocidas con el nombre de contaminantes emergentes. El presente trabajo experimental fue desarrollado en las parroquias de Uyumbicho, Amaguaña, dos localidades ubicadas a 1 Km de la orilla del río San Pedro y la parroquia de Sangolqui cerca al río Pita, se evaluó la probable existencia de residuos de antibióticos betalactámicos y sulfamidas, en los 13 puntos de muestreo distribuidos de la siguiente manera: 9 en el río San Pedro y 4 en el río Pita, se realizaron 6 muestreos de agua, para ser analizadas mediante la utilización de un kit de detección para antibióticos, las muestras fueron analizadas 2 veces cada mes, por 3 meses, se procesó las imágenes con técnica fotogramétrica y estadísticas para cuantificar los antibióticos, de manera rápida y sencilla. Los resultados obtenidos son claros con un total del 41 de 78 muestras que representa el 52 % de casos positivos con presencia de residuos de antibióticos betalactámicos y sulfamidas en los afluentes de los ríos San Pedro y Pita.

Palabras clave: Antibióticos, contaminantes emergentes, ambiente, betalactámicos, sulfamidas.

Abstract

The activities carried out in daily living, such as personal hygiene and health care, they may cause negative effects on the ecosystem, generating alterations on the environment given that consumed several substances of different origin and chemical composition, these substances are relatively little known regarding the impact that will have on the environment and human substances that are recognized under the name of polluting emerging. This experimental study was developed in the parishes of Uyumbicho, Amaguaña, two towns located 1 Km from the shore of the San Pedro river and the parish of Sangolqui near the Pita river, assessed the likely existence of residues of beta-lactam antibiotics and sulphonamides at the 13 sampling points distributed in the following manner: 9 in the San Pedro river and 4 in the Pita river 6 samples of water, were taken to be analyzed using a kit of detection for antibiotics samples were tested 2 times every month, for 3 months, antibiotics were estimated by photogrammetric and statistical analysis. The results are clear with a total of 41 of 78 samples representing 52 % of positive cases with the presence of residues of beta-lactam antibiotics and sulfonamides in the tributaries of the rivers San Pedro and Pita.

Keywords: Antibiotics, contaminants emerging, environment, beta-lactams, sulfonamides.

Forma sugerida de citar: Ramírez C., L. J., Chicaiza Ramírez, S. E., Ramos López, A. D. y Álvarez, C. I. (2019). Detección de antibióticos betalactámicos, tetraciclinas y sulfamidas como contaminantes emergentes en los ríos San Pedro y Pita del cantón Rumiñahui. *La Granja: Revista de Ciencias de la Vida*. Vol. 30(2):88-102. <http://doi.org/10.17163/lgr.n30.2019.08>.

IDs Orcid:

Lenin Javier Ramírez-Cando: <https://orcid.org/0000-0002-4855-4796>

Sabrina Estefania Chicaiza Ramírez: <https://orcid.org/0000-0003-0496-685X>

Allan David Ramos López: <https://orcid.org/0000-0002-1446-5138>

César Iván Alvarez: <https://orcid.org/0000-0001-5629-0893>

1 Introducción

El deterioro en el medio ambiente es provocado por el aumento acelerado de la población, esto conlleva el aumento de producción, en actividades industriales, farmacéuticas, agrícolas debido a que las aguas que cada actividad genera son vertidas directamente a los cuerpos de agua, estas aguas no se tratan previamente, consecuentemente no se puede mitigar el impacto que se está generando sobre los cuerpos de agua (Elena, Ramírez y García G., 2009; Ramírez Cando, Guerra Guevara y Reinoso Molina, 2017).

El anuncio del primer antibiótico sulfamídico en 1935 inició la era moderna de la terapéutica antimicrobiana, caracterizada por una enorme disminución de la morbilidad y de la mortalidad para muchas enfermedades infecciosas (Gimeno, 2001; Reig y Toldrá, 2008). Dentro de este grupo de contaminantes, se encuentran los productos farmacéuticos y los subproductos si bien no son considerados como sustancias persistentes, su frecuente utilización y desecho los hace estar presentes en nuestro entorno. Por consiguiente, los antibióticos forman parte de los agentes farmacológicos utilizados de forma reiterativa, y en otros casos usados sin ningún tipo de control, como suplemento alimenticio o para tratar enfermedades en animales, siendo administrados en numerosas ocasiones de forma insensata y en dosis inadecuadas (Talero Pérez, Medina y Rozo-Núñez, 2014).

El derecho de todo ciudadano a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, libre de contaminación (CIJUL, 2013; Mátyás y col., 2018; Ramírez Cando y col., 2017), es la base para realizar el proyecto de detección de antibióticos y derivados de los mismos, como contaminantes emergentes en la cuenca de los ríos Pita y San Pedro, para de esta manera generar ideas para el tratamiento posterior necesario para la descontaminación de los ríos. El fin de este trabajo es identificar, analizar, detectar y cuantificar los tipos de antibióticos y sus derivados que se encuentren presentes en los ríos San Pedro y Pita considerados como contaminantes emergentes, de esta manera, poder generar datos que nos faciliten analizar el comportamiento de estos antibióticos y determinar además niveles de afección tanto a la salud humana como al entorno en sí, analizaremos este proceso mediante muestreos in situ y procesos controlados en un laboratorio, para un análisis posterior a los resultados y tener una idea clara del efec-

to de los antibióticos en el medio ambiente. Una de las características importantes que posee este grupo de contaminantes para causar un efecto negativo en la naturaleza, es que no necesariamente requieren ser persistentes, ya que, si bien existen sistemas que los pueden remover o transformar en compuestos más simples o subcompuesto, su continuo consumo y por ende el desecho que generado conlleva a la presencia permanente en el medio ambiente (Barceló, 2003; Guevara Granja y Ramírez Cando, 2015; Ramírez Cando y col., 2017). En los ríos San Pedro y Pita se estudian y analizan específicamente los siguientes contaminantes emergentes (antibióticos): Betalactámicos, Tetraciclinas, Sulfamidas (Barceló, 2003).

Los antibióticos son sustancias originados de distintos tipos de especies de microorganismos, como bacterias, hongos o actinomicetos, incluyendo ciertas especies de insectos y plantas; los cuales logran intervenir en el desarrollo de otros microorganismos e incluso pueden llegar a eliminarlos (Volfredo Camacho, 2010), están constituidos por moléculas orgánicas, lo que nos revela que su mecanismo de degradación al cual está expuesto en el medio ambiente son igual a cualquier compuesto orgánico, pero con la diferencia que todas las reacciones que se llevan a cabo se realizan aun cuando las concentraciones de estos compuestos estén muy diluidas (Henríquez Villa, 2012). Se tiene que el tiempo estimado para la biodegradación de los antibióticos en el medio ambiente es de meses o años, dependiendo de las condiciones en las que se encuentre: cantidad de oxígeno, la disponibilidad de luz, el suministro de agua (Ferrer y Thurman, 2012; Alvarez Mendoza, Teodoro y Ramirez, 2019). Considerando lo expuesto, la detección y cuantificación de dichos compuestos en cuerpos de agua se convierte cada día en una necesidad para la toma de decisiones y regulaciones al respecto.

2 Materiales y métodos

2.1 Área de estudio

Detección de antibióticos en aguas de los ríos San Pedro y Pita, ubicados en la provincia de Pichincha, en parroquias como Uyumbicho en el cantón Mejía y Amaguaña y Sangolquí en el cantón Rumiñahui, por las cuales atraviesan los ríos en estudio como se ve en la Figura 1.

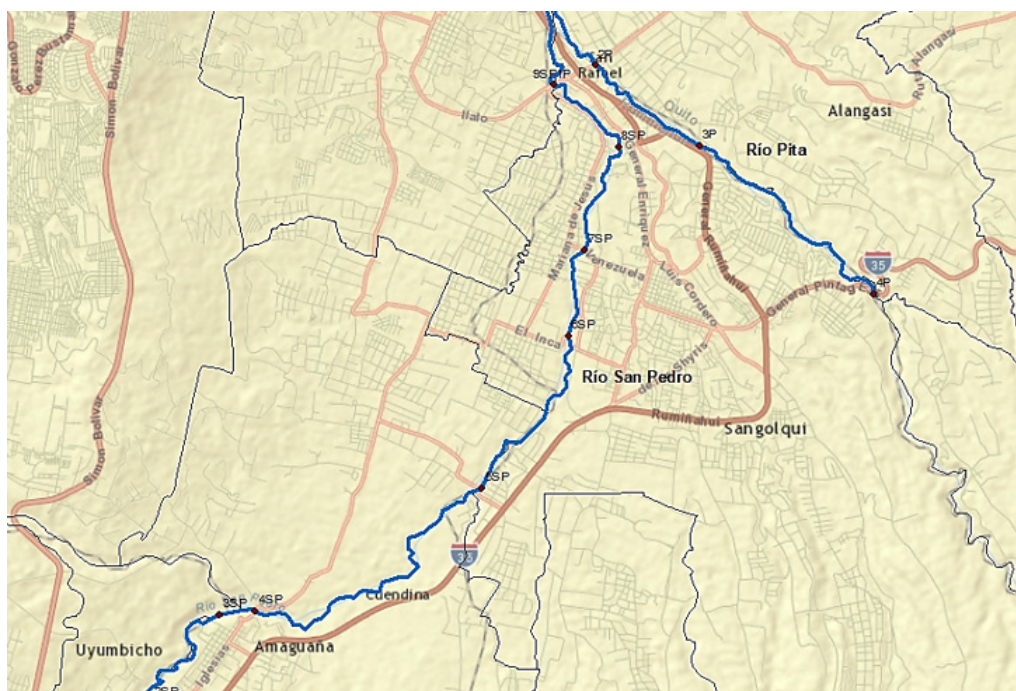


Figura 1. Localización del proyecto desde la parroquia de Uyumbicho, Amaguaña y Sangolquí.

Uyumbicho

La parroquia de Uyumbicho ubicada al norte del cantón Mejía a 23 Km del centro de la ciudad de Quito, y a 1 Km de la orilla izquierda del río San Pedro. Entre los 2600 y los 4600 m.s.n.m., posee un clima templado húmedo, con una temperatura promedio de 12°C a 27°C (Uyumbicho, 2014).

Amaguaña

La parroquia de Amaguaña pertenece al Distrito Metropolitano de Quito ubicada al norte del Cantón Mejía, y el río San Pedro atraviesa la parroquia. Entre los 1740 y los 4120 m.s.n.m., posee un clima templado con una temperatura promedio de 17°C y 18°C (Amaguaña, 2013).

Sangolquí

La parroquia de Sangolquí está ubicada en el valle de los chillos, es la capital del cantón Rumiñahui y forma parte de la hoya de Guayllabamba y se encuentra a 1 Km de la orilla derecha del Río Pita. Entre los 2415 y los 2512 m.s.n.m., posee un clima templado, con una temperatura promedio de 16°C y 23°C (Rumiñahui, 2014).

2.2 Obtención de la muestra

Se utilizó un GPS para georreferenciar los puntos de muestreo, y permitió ubicar en un mapa los puntos de referencia para cada uno de los ríos, es así que se pudo obtener las coordenadas y mapas de ubicación para los puntos de muestreo del río Pita y San Pedro. Se tomaron un total de 13 muestras, 9 muestras en el río San Pedro y 4 muestras en el río Pita, tomando 1 litro de cada una de las muestras para su posterior uso y análisis, esto realizado con la ayuda de equipos como el pH-metro (FiveGoTM, Mettler Toledo) y un kit (AuroFlowTM BTS Combo Strip Test Kit" de marca BIOO Scientific).

2.3 Análisis en campo

El trabajo de campo se realizó, siguiendo los pasos tanto para la recolección de las muestras según la NTE INEN 2117:2013 sobre el agua, calidad del agua, muestreo manejo y conservación de muestras (INEM, 2013); como para el análisis de dichas muestras a través del kit "AuroFlowTM BTS Combo Strip Test Kit" de marca BIOO Scientific (Scientific, 2018), que es un kit de análisis e identificación de antibióticos. Para cada punto de muestreo se realizó la medición de pH, conductividad y temperatura

con el pH-metro el instrumento portátil pH-metro FiveGoTM sirve para la medición de pH, conductividad (mS) y temperatura (°C), este equipo cumple con las normativas de seguridad reconocidas (Tolledo, 2017) y, la identificación de antibióticos con las tiras de lectura para la comparación de resultados con la guía del kit AuroFlowTM, los informes de validación están disponibles y muestran la eficacia de las pruebas tanto a temperatura ambiente como en otras condiciones (Scientific, 2018), el protocolo o proceso rápido y simplificado del uso del kit se puede ver a continuación:

- Agregue 200uL de agua fría al recipiente de reacción y mezcle pipeteando hacia arriba y hacia abajo 10 veces.
- Incubar la mezcla durante 3 minutos a temperatura ambiente.
- Agregue la varilla o tira medidora al recipiente de reacción.
- Incubar la mezcla durante 4 minutos a temperatura ambiente.
- Interpretar visualmente el resultado usando el diagrama, o usa el lector.

2.4 Análisis de laboratorio

Las muestras fueron almacenadas y refrigeradas durante una semana, como primer paso se preparan materiales para la elaboración del medio de cultivo, para nuestro proyecto se ocupó Agar nutritivo, tanto el MacConkey como el PCA (ambos de marca DIFCO BBL Microbiology, en presentación de 500 gramos), que son medios universales para la determinación de microorganismos y bastante útiles para la identificación de UFC (Unidades formadoras de colonias), se preparó 500ml de cada tipo de agar siguiendo los procedimientos de preparación.

2.4.1 Preparación del Agar

La preparación del medio de cultivo consiste en pesar la cantidad deseada del mismo y disolverla en agua destilada siguiendo las instrucciones del fabricante según la etiqueta proporcionada en el envase del producto. Esta mezcla después de ser preparada se esteriliza en el autoclave, una vez finalizada la esterilización, los medios se dejarán enfriar a temperatura ambiente, evitando su solidificación, ya que

estos medios deben verterse en las cajas Petri para la siembra de las muestras, para que arrojen los resultados correspondientes para cada una de las mismas.

2.4.2 Preparación de las muestras para siembra

Una vez esterilizados los materiales: cajas Petri, pipetas y tubos de ensayo; se toman las cajas Petri, y se vierte el medio fundido y estéril dentro de ellas, en un ambiente aséptico, lo recomendable es que esté en la proximidad de la llama de un mechero Bunsen, aproximadamente en un radio de 20 a 30 cm dependiendo la intensidad y el color de la flama (APHA, 1970) o Agar PCA (Plate count agar). Se sacan las muestras de la refrigeración y se las mantiene en condiciones ambientales para que se acondicionen a la temperatura normal, una vez acondicionadas estas muestras se tomó 1 ml. de cada una de las botellas para la respectiva siembra, una vez colocada la alícuota se vierte el agar en cada una de las cajas Petri, considerando que para el proceso se realizaron diluciones 10^{-1} y 10^{-2} que ayudaran a reducir la concentración de microorganismos (APHA, 1970).

Después de colocar determinada cantidad de muestra, se seleccionó el agar MacConkey y PCA para cada dilución y se la vierte en cada caja Petri, ocupando una técnica de siembra de cultivos denominada "caja pobre", en la cual se coloca un mililitro de cada una de las diluciones en cada una de las cajas Petri etiquetadas. Este mililitro se lo esparce en toda la caja después de esto, en un ambiente estéril, se vierte el agar con una temperatura máxima de 40°C. Se realizó el proceso utilizando 26 cajas Petri; 13 cajas para las muestras en agar MacConkey y 13 cajas para PCA, para comprobar la funcionalidad del proceso con cada uno de los medios a partir de eso usamos 28 cajas Petri, contando con un blanco para diferenciar las demás muestras. Una vez preparadas y finalizado el proceso de siembra, las cajas Petri son ingresadas a una incubadora la cual se mantiene en una temperatura definida de 37°C, se las conserva en un tiempo aproximado de 48 horas para que el crecimiento sea óptimo en ambos tipos de agar: estándar (APHA, 1970) o Agar PCA.

2.5 Preparación de las Curvas de Calibración

Para las curvas de calibración, comenzamos nuestro análisis considerando el blanco que hace referencia

a agua sin presencia de antibióticos.

Tabla 1. Ubicación de los puntos de muestreo.

COORDENADAS			
PUNTOS	RÍO	X	Y
1	SAN PEDRO	776320,179	9957033,03
2	SAN PEDRO	776459,837	9957513,84
3	SAN PEDRO	777471,527	9958809,98
4	SAN PEDRO	777999,499	9958872,2
5	SAN PEDRO	781362,462	9960688,91
6	SAN PEDRO	782648,687	9962947,4
7	SAN PEDRO	782899,269	9964211,35
8	SAN PEDRO	783390,9	9965736,51
9	SAN PEDRO	782436,11	9966660,18
1	PITA	782436,11	9966660,18
2	PITA	783049,537	9966952,45
3	PITA	784595,582	9965756,81
4	PITA	787187,462	9963561,93

2.5.1 Elaboración de Curvas de Calibración

La curva de calibración se mide en función de la concentración de un analito. La calibración incluye la selección de un modelo para valorar parámetros que permitan comprobar la linealidad de esa curva y, como resultado, la capacidad de un método analítico para obtener resultados que sean proporcionales a la concentración de un compuesto en dicha muestra, dentro de un determinado intervalo de trabajo. En el procedimiento se compara una propiedad del analito con la de estándares de concentración conocida del mismo analito (o de algún otro con propiedades muy similares a éste) (Dosal y Villanueva, 2008). La fase de calibración analítica se realiza mediante un modelo de línea recta radica en hallar la recta de calibrado que mejor se ajuste a una cantidad de n puntos experimentales, donde cada punto se encuentra definido por una variable x (variable independiente, generalmente concentración del analito de interés) y una variable y (variable dependiente, generalmente respuesta instrumental). La recta de calibrado se encuentra definida por una ordenada al origen (b) y una pendiente (m), mediante la ecuación $y = mx + b$ o cualquiera de

sus formas linealizadas (Dosal y Villanueva, 2008).

2.5.2 Preparación de la curva de calibración

El blanco nos servirá para comparar con los demás resultados y para esto se necesitó muestras puras tanto para β -lactámicos como para sulfamidas. Se tomó un gramo de cada uno, en este proceso se formaron 6 muestras de cada antibiótico, un blanco (concentración 0) y una solución patrón de 1g de antibiótico por cada 100 mL, de aquí se partió para preparar 5 diluciones: 10^{-1} , 10^{-2} , 10^{-3} , 10^{-4} y 10^{-5} , para evaluar y reconocer las diferentes concentraciones todo este proceso con ayuda del kit AuroFlowTM. Se empleó una técnica de análisis de imágenes raster que nos proporciona el programa informático R Studio (RStudio, 2016), mediante el cual se puede relacionar las bandas con la cantidad de antibiótico existente, las bandas usadas son: Roja, Verde y Azul, en inglés RGB (Red-Green-Blue). Se debe considerar para dicha evaluación tomar imágenes precisas de las tiras de medición del kit, a una misma distancia (altura), a una exposición de luz igual para todas las tiras y evitando las sombras en las mismas, ya que cualquier tipo de error dentro

de este proceso, altera significativamente el valor de las bandas al pasar por el análisis informático (Álvarez Mendoza y col., 2018).

Una vez tomadas las imágenes correspondientes al blanco se analizan todas las tiras obtenidas de la toma de muestras que son 78 tiras de esta forma se realiza la curva de calibración (conjunto de con-

centraciones que describen el intervalo en el cual se deberá cuantificar el compuesto por analizar) y a fin de asegurar que la recta encontrada con los puntos experimentales se ajustó correctamente al modelo matemático de la ecuación; se calculan los valores de la ordenada al origen, la pendiente, el coeficiente de determinación (R^2) y el análisis de residuos del modelo (Dosal y Villanueva, 2008).

3 Resultados

3.1 Campo y muestreo

Los resultados obtenidos a lo largo de los muestreos correspondientes, para las fechas indicadas, a la información recolectada en la Tabla 1 para la ubicación geográfica.

La información levantada a partir de la distribución espacial de los puntos de muestreo es indicando

por las variables de estado como pH, temperatura y conductividad, además de indicar la presencia de antibióticos en las diferentes muestras (Tabla 2).

Evidenciándose en la Tabla 2 que la presencia de antibióticos con base de betalactámicos es mayor que la presencia de antibióticos con base de sulfamidas en una relación de al menos 2:1. Los valores de pH se mantienen en un rango de 7,14 a 8,51, la temperatura se mantiene entre 14,15°C a 26,45°C y la conductividad en un rango de 13,67mS a 82,00mS.

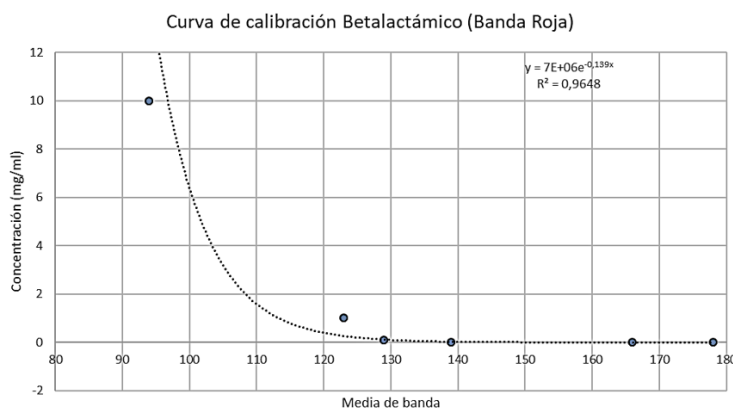


Figura 2. Curva de calibración para betalactámicos con los datos analizados de las imágenes del blanco.

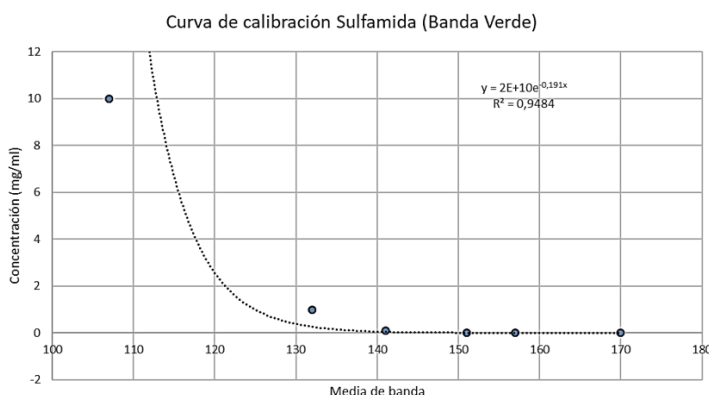


Figura 3. Curva de calibración para sulfamidas con los datos analizados de las imágenes del blanco.

Tabla 2. Tabla de datos a lo largo de las fechas de muestreo, se presentan los puntos que tuvieron presencia de antibióticos, dando un valor positivo (1) y un valor negativo (0) a la presencia de los mismos.

Fecha	Puntos	Río	pH	Conductividad	Temperatura	Betalactámicos	Sulfamidas
7/11/2017	2	SAN PEDRO	8,43	76,67	18,7	1	1
	3	SAN PEDRO	8,5	80	18,45	0	1
	4	SAN PEDRO	8,47	78,67	20,05	0	1
	6	SAN PEDRO	8	53	24	1	1
	7	SAN PEDRO	8,37	74,33	19,89	1	0
	8	SAN PEDRO	8,36	73	23,55	0	1
	9	SAN PEDRO	8,29	21	22,5	0	1
	3	PITA	8,51	24,67	23,5	1	1
22/11/2017	3	SAN PEDRO	8,3	76,33	17,55	1	0
	8	SAN PEDRO	8,13	67	16,75	1	0
	2	PITA	7,44	28,67	19,8	1	0
	3	PITA	8,1	65,33	17,25	1	0
	4	PITA	8,25	73,33	16,85	1	0
4/12/2017	1	SAN PEDRO	7,91	64,67	15,95	1	0
	2	SAN PEDRO	7,85	61,67	17,6	1	0
	6	SAN PEDRO	7,56	45,67	21,1	0	1
	2	PITA	7,14	21,33	23,95	1	1
	4	PITA	7,83	60,67	18,7	1	1
18/12/2017	1	SAN PEDRO	7,84	60,67	16,8	1	0
	5	SAN PEDRO	7,96	67,67	17,95	1	0
	6	SAN PEDRO	7,71	54,33	21,3	1	0
	7	SAN PEDRO	7,73	54,67	19,9	1	0
	8	SAN PEDRO	7,71	54,33	20,35	1	0
	2	PITA	7,18	24	24,5	1	0
	4	PITA	7,61	48	20,95	1	0
	4	SAN PEDRO	7,72	54,33	16,35	1	0
2/1/2018	6	SAN PEDRO	7,42	37	21,1	1	0
	9	SAN PEDRO	7,48	40,67	17,8	1	0
	1	PITA	7,47	40	16,95	1	0
	2	PITA	7,32	31,67	17,15	1	0
	3	PITA	7,36	33,33	16,5	1	0
	4	PITA	7,36	33,33	17	1	0
	2	SAN PEDRO	7,99	69,67	16,45	1	0
17/1/2018	3	SAN PEDRO	7,99	69,33	19,3	1	0
	5	SAN PEDRO	7,94	67	17,2	1	0
	6	SAN PEDRO	7,56	45	19,1	1	1
	7	SAN PEDRO	7,92	65	15,5	1	0
	9	SAN PEDRO	7,87	62	15	1	1
	2	PITA	7,4	35,67	15,55	1	0
	3	PITA	7,69	52	14,4	1	1
	4	PITA	7,34	32	14,15	1	0

3.2 Pruebas microbiológicas

Una vez obtenidas las muestras y la presencia o no de antibióticos en las mismas, de la siembra de estas muestras en medios de cultivos, tanto Agar MacConkey y Agar PCA, por métodos ya especificados

anteriormente, se obtuvieron los siguientes resultados, tomando en cuenta que se realizaron diluciones para todas las muestras, debido a que se debía reducir la concentración de microorganismos para poder identificar las colonias posteriormente, contando además que sólo se presentan las muestras

positivas, presentando únicamente el valor de las UFC (Unidades formadoras de colonias) una vez utilizado el respectivo factor de conversión, se agre-

ga también que se eliminó el dato del primer muestreo debido a que su concentración arrojaba resultados incontables, como se observa en la Tabla 3.

Tabla 3. Representación de los valores totales de UFC para cada una de las muestras, en cada una de las fechas de muestreo, realizadas por conteo en cuadrantes.

Fecha	Puntos	Río	TOTAL (UFC/ml)	Fecha	Puntos	Río	TOTAL (UFC/ml)
22 de noviembre 2017	3	SAN PEDRO	29400	2 de enero 2018	1	SAN PEDRO	14000
	8	SAN PEDRO	44100		2	SAN PEDRO	29300
	2	PITA	60950		3	SAN PEDRO	25000
	3	PITA	38450		4	SAN PEDRO	24500
	4	PITA	24300		5	SAN PEDRO	25000
4 de noviembre 2017	2	SAN PEDRO	1700		6	SAN PEDRO	34900
	3	SAN PEDRO	400		7	SAN PEDRO	72000
	4	SAN PEDRO	500		8	SAN PEDRO	25700
	5	SAN PEDRO	250		9	SAN PEDRO	24100
	6	SAN PEDRO	500		1	PITA	27000
	7	SAN PEDRO	350		2	PITA	33000
	8	SAN PEDRO	100		3	PITA	12000
	9	SAN PEDRO	300		4	PITA	2400
	2	PITA	3250		1	SAN PEDRO	1000
	3	PITA	200	17 de enero 2018	2	SAN PEDRO	3000
18 de diciembre 2017	4	PITA	300		3	SAN PEDRO	5000
	1	SAN PEDRO	14350		4	SAN PEDRO	8700
	2	SAN PEDRO	16500		5	SAN PEDRO	5900
	3	SAN PEDRO	7000		6	SAN PEDRO	18300
	4	SAN PEDRO	16950		7	SAN PEDRO	13950
	5	SAN PEDRO	12450		8	SAN PEDRO	18500
	6	SAN PEDRO	26750		9	SAN PEDRO	9500
	7	SAN PEDRO	17600		1	PITA	14650
	8	SAN PEDRO	22000		2	PITA	28500
	9	SAN PEDRO	37600		3	PITA	4450
	1	PITA	14700		4	PITA	4000
	2	PITA	14500				
	3	PITA	16000				
	4	PITA	12000				

3.3 Curvas de calibración

En el proceso también se consideró al blanco, gracias a las tiras indicadoras de presencia de antibióticos, la cual nos permitió determinar mediante programación y detección de bandas correspondientes

a los colores rojos, verde y azul, las curvas de calibración que nos ayudarían a estimar la concentración de cada antibiótico hallado, en este caso de betalactámicos y sulfamidas, dando como resultado la Tabla 4 para betalactámicos y la Tabla 5 para sulfamidas.

Tabla 4. Bandas: roja, verde y azul para betalactámicos con sus respectivas concentraciones en mg/mL.

Media	Rojos Concentración	Media	Verdes Concentración	Media	Azules Concentración
94	10	160	10	191	10
123	1	147	1	181	1
129	0,1	182	0,1	202	0,1
139	0,01	123	0,01	164	0,01
166	0,001	151	0,001	181	0,001
178	0,0001	164	0,0001	158	0,0001

Determinando de esta manera que para el cálculo de antibióticos con base de betalactámicos se ocupará la banda roja (Tabla 4), ya que esta presenta una correlación que satisface el proceso, mientras que, para las muestras de antibióticos con base de sulfamida, se ocupará la banda verde (Tabla 5). Con estos datos se programó y diseñaron las respectivas curvas de calibración, que posteriormente nos servirán para el cálculo de concentraciones de antibióticos de cada muestra. Obteniendo la ecuación $y = 7 \cdot 10^6 e^{-0,139x}$ de ajuste $R^2 = 0,9648$ (Figura 2) para betalactámicos y la ecuación $y = 2 \cdot 10^1 e^{-0,191x}$ de ajuste $R^2 = 0,9484$ (Figura 3) para sulfamidas. Considerando que valores de R^2 mayores a 0,9 o lo más cercano a 1, son valores acogidos como válidos (Martínez Rodríguez, 2005).

Considerando el análisis de residuos donde se observó su distribución normal y cumpliendo con la condición homocasticidad (prueba de White) se continuo con el cálculo de las concentraciones de antibióticos gracias a las ecuaciones elaboradas a partir de la Figura 2 y Figura 3, con sus respectivos valores de R^2 más cercanos a la veracidad (Olea, 2016), para cada muestra de la misma manera en que se realizó con la muestra blanco, eliminado de igual manera los resultados negativos, presentando así la Tabla 6 como resultado del cálculo.

Tomar en cuenta que son 13 muestras en total a lo largo de los ríos en estudio, estos resultados servirán de gran ayuda para su análisis posterior en mapas ilustrativos de la situación de los antibióticos y la relación de estas concentraciones con otras variables consideradas dentro del estudio.

Tabla 5. Bandas: roja, verde y azul para sulfamidas con sus respectivas concentraciones en mg/mL.

	Rojo		Verde		Azul
Media	Concentración	Media	Concentración	Media	Concentración
124	10	107	10	169	10
136	1	132	1	174	1
117	0,1	141	0,1	160	0,1
148	0,01	151	0,01	172	0,01
170	0,001	157	0,001	165	0,001
103	0,0001	170	0,0001	118	0,0001

3.4 Mapas de estudio de resultados

Con los datos calculados anteriormente podemos desarrollar mapas que nos ayudarían a entender la ubicación de los puntos y sus determinadas características tanto como valoración de los mismos e incluso se presenta la dispersión de los antibióticos alrededor de la zona de estudio (Figura 4).

Mismos que permitieron determinar: la variación de pH en la zona va desde el valor de 7,14 a 8,51 considerando que el agua de los ríos se mantiene en un nivel neutro a básico, la conductividad se estimó en un rango de 13,67 mS a 82,00 mS, teniendo valores más altos en sectores aledaños al río Pita,

con respecto a la temperatura se tiene una variación entre 14,15°C y 26,45°C. Con respecto a los antibióticos encontrados, hablando de los betalactámicos, este tiene mayor concentración en los puntos 7 del río San Pedro y 4 del río Pita, con valores de concentraciones entre $1,37 \times 10^{-3}$ mg/ml y $1,57 \times 10^{-3}$ mg/ml. Mientras que en lo referente a las sulfamidas se consideró que el punto más alto de concentración del mismo fue el punto 3 del río Pita, con valores entre $2,05 \times 10^{-3}$ mg/ml y $2,35 \times 10^{-3}$ mg/ml.

4 Discusión

Una vez analizados los resultados de cada uno de los ríos notamos, que en relación a condiciones ambientales como el pH y la temperatura; ambos ríos presentaron condiciones similares, a pesar de que, con la conductividad hay una diferencia de

26,03 mS, siendo mayor la conductividad del río Pita. Los resultados demostraron que existen antibióticos en el agua de los ríos San Pedro y Pita, los resultados obtenidos son similares a los valores de 36,5% y 50%, reportados por otros investigadores

Tabla 6. Concentraciones de las muestras positivas tanto con antibiótico betalactámico como con antibiótico sulfamida. Donde, banda roja R, banda verde G, banda azul B, betalactámicos “Beta” y sulfamidas “Sulfa”.

Fecha	Puntos	Río	R	G	B	Presencia	Concentración (mg/mL)	
							Beta	Sulfa
7/11/2017	2	SAN PEDRO	174	175	184	Beta, Sulfa	2,19E-04	6,09E-05
	3	SAN PEDRO	173	174	185	Sulfa	-	7,37E-05
	4	SAN PEDRO	175	176	185	Sulfa	-	5,03E-05
	6	SAN PEDRO	170	172	182	Beta, Sulfa	3,83E-04	-
	7	SAN PEDRO	172	174	183	Beta	2,90E-04	-
	8	SAN PEDRO	165	170	170	Sulfa	-	1,58E-04
	9	SAN PEDRO	157	164	176	Sulfa	-	1,66E-04
	12	PITA	145	149	156	Beta, Sulfa	1,24E-02	8,74E-03
20/11/2017	3	SAN PEDRO	176	176	186	Beta	1,66E-04	-
	8	SAN PEDRO	159	162	176	Beta	1,77E-03	-
	11	PITA	160	162	170	Beta	1,54E-03	-
	12	PITA	158	158	169	Beta	2,03E-03	-
	13	PITA	159	160	170	Beta	1,77E-03	-
4/12/2017	1	SAN PEDRO	170	171	183	Beta	3,83E-04	-
	2	SAN PEDRO	172	170	182	Beta	2,90E-04	-
	6	SAN PEDRO	172	168	180	Sulfa	-	2,32E-04
	11	PITA	173	171	184	Beta, Sulfa	2,52E-04	1,31E-04
	13	PITA	172	171	183	Beta, Sulfa	2,90E-04	1,31E-04
18/12/2017	1	SAN PEDRO	154	159	173	Beta	3,54E-03	-
	5	SAN PEDRO	166	167	181	Beta	6,67E-04	-
	6	SAN PEDRO	167	168	181	Beta	5,81E-04	-
	7	SAN PEDRO	162	162	179	Beta	1,16E-03	-
	8	SAN PEDRO	170	170	182	Beta	3,83E-04	-
	11	PITA	169	170	185	Beta	4,40E-04	-
	13	PITA	168	170	184	Beta	5,05E-04	-
2/1/2018	6	SAN PEDRO	176	177	191	Beta	1,66E-04	-
	9	SAN PEDRO	170	176	188	Beta	3,83E-04	-
	10	PITA	163	168	180	Beta	1,01E-03	-
	11	PITA	161	167	179	Beta	1,34E-03	-
	12	PITA	154	162	176	Beta	3,54E-03	-
	13	PITA	147	156	171	Beta	9,36E-03	-
17/1/2018	2	SAN PEDRO	171	171	182	Beta	3,33E-04	-
	3	SAN PEDRO	172	172	183	Beta	2,90E-04	-
	5	SAN PEDRO	169	171	183	Beta	4,40E-04	-
	6	SAN PEDRO	167	170	182	Beta, Sulfa	5,81E-04	1,58E-04
	7	SAN PEDRO	160	165	178	Beta	1,54E-03	-
	9	SAN PEDRO	153	160	174	Beta, Sulfa	4,06E-03	1,07E-03
	11	PITA	170	175	186	Beta	3,83E-04	-
	12	PITA	175	177	188	Beta, Sulfa	1,91E-04	4,16E-05
	13	PITA	175	177	188	Beta	1,91E-04	-

en la detección de betalactámicos en leche cruda y pasteurizada relacionada con la cercanía de estas industrias a la zona de muestreo.

La presencia de industrias aledañas a los ríos, que tienen como efluente el cauce del río, contribuyen a la contaminación de los ríos, además de que existen zonas en las que hay actividad agrícola y demás actividades agroindustriales, sin despreciar la existencia de efluentes domésticos y como una importante fracción de fármacos que son consumidos en grandes cantidades y variedad luego de su ingesta se excretan por el individuo a través de orina y heces, ingresando de manera continua a las aguas residuales.

Estudios sobre el consumo de fármacos en los países de la UE, cifra estos antibióticos en toneladas por año, y muchos de los más usados, entre ellos los antibióticos, se emplean en cantidades similares a las de los pesticidas (Barceló, 2003). Entre los fármacos más usados u ocupados en medicina, destacan los antibióticos, como la amoxicilina y el sulfametoxazol, y entre los antibióticos con mayor reporte en los cuerpos de agua están las tetraciclinas, como se han identificado también, omitiendo el hecho que no hubo presencia de tetraciclinas en los muestreos del estudio realizado.

A partir del análisis de varianza y las curvas de calibración, se comprueba que los resultados obtenidos señalan que el porcentaje de recuperación, es de un 96%. El coeficiente de correlación (R^2) de la curva de calibrado es 0,9946 y el coeficiente de variación 1,86% (Aguilera, Herrera y Ponce, 2010). Para nuestro caso, fue un valor del coeficiente de correlación (R^2) de la curva de calibrado entre 0,9484 y 0,9648 valores cercanos para el método aplicado, donde se considera que para valores superiores a

0,95 son aceptables para el análisis.

Para la mayoría de las pruebas con microorganismos sensibles, el betalactámico se comporta como bactericida porque la concentración bactericida mínima (CBM), o la concentración mínima de antimicrobiano elimino el 99,9% de los microorganismos viables (Taroco, Seija y Vignoli, 2006). Esto también se ha discutido con respecto a valores máximas de concentraciones de los antibióticos presentes en aguas residuales en estudios realizados en Estados Unidos, para el caso de los betalactámicos se verificó el valor de la amoxicilina, la cual se encontró en un valor de 150 $\mu\text{g/l}$ y para las sulfamidas como muestra la sulfametoxazol con una máxima concentración de alrededor de 2,8 $\mu\text{g/l}$ (Kim y col., 2007; Kim y Aga, 2007; Morse y Jackson, 2003). Mientras que el análisis del agua del río Sena en Francia, debido a que analizan los antibióticos en estudio y a su relación con las actividades humanas como agricultura e industrial se tomó en cuenta para la comparación, presentando antibióticos en concentraciones que alcanzan 544 ng/l .

En condiciones de pH de 7 y temperatura de 4°C (Tamtam y col., 2008). Valores que para la comparación con nuestro estudio serían de: $1,5 \times 10^{-8} \text{ mg/L}$ de betalactámicos y $2,8 \times 10^{-6} \text{ mg/L}$ de sulfamidas. Mientras que, los resultados de los muestreos son $1,24 \times 10^{-2} \text{ mg/L}$ de betalactámicos y $8,74 \times 10^{-3} \text{ mg/L}$ de sulfamidas; la diferencia se debe a la cantidad de la muestra tomada ya que en el estudio de Estados Unidos se tomó una muestra de 0,1mL (Morse y Jackson, 2003; Kim y Aga, 2007), mientras que para nuestra investigación se ocupó 1ml de muestra. No existe un ensayo estandarizado para evaluar la susceptibilidad o resistencia de las bacterias del medio ambiente.

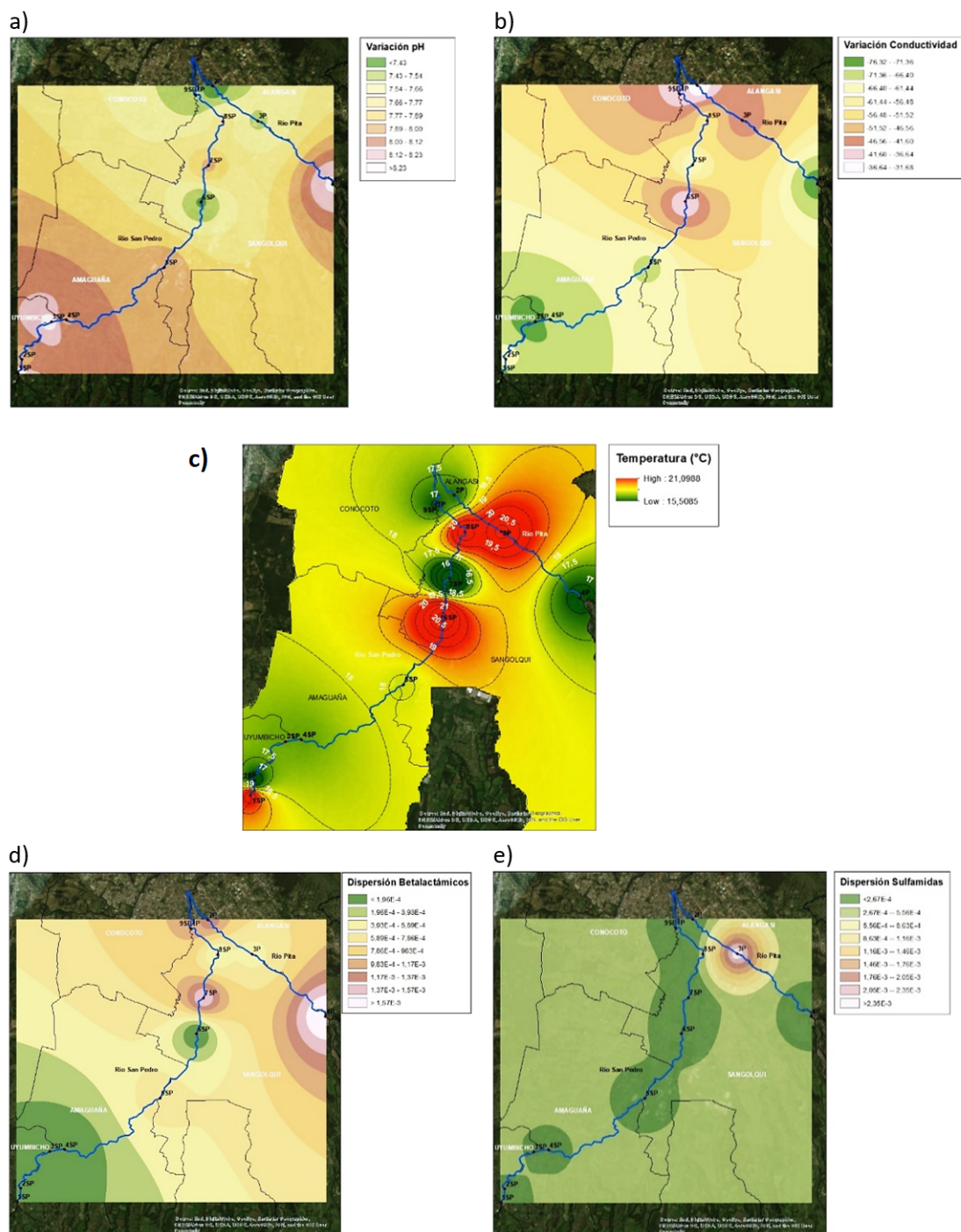


Figura 4. Mapas ilustrativos acerca de las condiciones en las que se presentó el estudio donde: a) Condición del pH en la zona, b) Condición de la conductividad en la zona, c) Condición de la temperatura (presentado con isotermas) de la zona, d) Dispersión del antibiótico betalactámico en la zona y e) Dispersión del antibiótico sulfamida en la zona. Elaborado en ARCGIS, (2016).

5 Conclusiones

El estudio realizado en las parroquias de Uyumbicho – Amaguaña – Sangolquí, nos indica que existe un problema de contaminación por materia orgánica y otros desechos, especialmente en las zonas donde existen centros poblados como Amaguaña, por donde el río San Pedro atraviesa la parroquia, al igual que en la Parroquia de Sangolquí que es atravesada por el río Pita, estos resultados se obtuvieron al analizar las siembras de microorganismos, que se realizaron en el laboratorio obteniendo la presencia de bacterias, que en su mayoría, solo se encuentra en la materia orgánica, debido a su crecimiento en los medios de cultivo que determinan dicha afirmación.

Los casos positivos en las muestras con antibióticos se presentaron en mayor número a los derivados de betalactámicos, seguidos de sulfamidas y para las tetraciclinas no se presentó ningún resultado, despreciándose así los cálculos según los resultados que se obtuvieron del kit. En los tres meses de muestreo se recolectaron y se analizaron las muestras de agua de los ríos, en la que existió mayor presencia de casos positivos, fue en el mes de enero con una cantidad de 16 casos positivos del total de 41 casos positivos para los tres meses de muestreos, el cual representa el 39% de las muestras positivas.

Agradecimientos

Este proyecto es financiado por la Universidad Politécnica Salesiana (proyecto de investigación 189) con sede en Quito – Ecuador, sin este apoyo no hubiera sido posible llevar a buen fin el mismo.

Referencias

- APHA (1970). *Standard Methods for the Examination of Dairy Products*. 15th ed. APHA. (1985), ISO 4833:2003.
- ARCGIS, ed. (2016). *Arcgis*, ESRI. ARCGIS-ARCMAP 10.3.
- Aguilera, Cristian, Carlos Herrera y Jorge Ponce (2010). «Implementación, validación y aplicación de un nuevo método para la determinación de oxitetraciclina por HPLC en tejido muscular de salmonídeos». En: *Latin american journal of aquatic research* 38.2, 227-233. Online: <https://bit.ly/2VkreSZ>.
- Alvarez Mendoza, Cesar I., Ana Teodoro y Cando Lenin Ramirez (2019). «Improving NDVI by removing cirrus clouds with optical remote sensing data from Landsat-8—a case study in Quito, Ecuador». En: *Remote Sensing Applications: Society and Environment* 13, 257-274. Onl.
- Alvarez Mendoza, Cesar I. y col. (2018). «Comparison of satellite remote sensing data in the retrieve of PM10 air pollutant over Quito, Ecuador». En: *Remote Sensing Technologies and Applications in Urban Environments III*. Vol. 10793. International Society for Optics y Photonics, 107930I. Online: <https://bit.ly/2IDCizB>.
- Amaguaña, GAD. (2013). *ACTUALIZACIÓN DEL PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL GAD PARROQUIAL DE AMA-GUAÑA – D.M.Q.* Inf. téc. G.A.D. Parroquial de Amaguaña.
- Barceló, Damià (2003). «Emerging pollutants in water analysis». En: *Trends in Analytical Chemistry* 10.22, xiv-xvi. Online: <https://bit.ly/2XtDfY7>.
- CIJUL (2013). *EL DERECHO A UN AMBIENTE SANO Y ECOLÓGICAMENTE EQUILIBRADO COMO DERECHO HUMANO DE TERCERA GENERACIÓN*. Inf. téc. Centro de Informacion Juridica en Línea.
- Dosal, M. A. y M. Villanueva (2008). «Introducción a la metrología química: Curvas de calibración en los métodos analíticos». En: *Antología De Química Analítica Experimental*.
- Elena, A., N. Ramírez y A. García G. (2009). «Las matemáticas limpian el agua». En: *Política y cultura* 31, 259-288. Online: <https://bit.ly/2KQrdCW>.
- Ferrer, Imma y Michael Thurman E (2012). «Analysis of 100 pharmaceuticals and their degradates in water samples by liquid chromatography/quadrupole time-of-flight mass spectrometry». En: *Journal of Chromatography A* 1259, 148-157. Online: <https://bit.ly/2TctxdF>.
- Gimeno, Emilio J. (2001). «La resistencia bacteriana transmitida al hombre a través de los alimentos y el uso responsable de los antimicrobianos como moduladores de crecimiento». En:
- Guevara Granja, Maria Fernanda y Lenin Javier Ramirez Cando (2015). «Eichhornia crassipes, ITS INVASIVENESS AND PHYTOREMEDIATION POTENTIAL». En: *GRANJA-REVISTA DE*

- CIENCIAS DE LA VIDA 22.2, 5-11. Online: <https://bit.ly/2NALSMc>.
- Henríquez Villa, Deyanira (2012). «Presencia de contaminantes emergentes en aguas y su impacto en el ecosistema. Estudio de caso: productos farmacéuticos en la cuenca del río Biobío, Región del Biobío, Chile». En: 138. Online: <https://bit.ly/2Epn6vu>.
- INEM, NTE (2013). «NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 266: 2013 Primera revisión». En: *First Edit*, págs. 7-12.
- Kim, Sungpyo y Diana S. Aga (2007). «Potential ecological and human health impacts of antibiotics and antibiotic-resistant bacteria from wastewater treatment plants». En: *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part B* 10.8, 559-573. Online: <https://bit.ly/2tEjQ99>.
- Kim, Sungpyo y col. (2007). «Tetracycline as a selector for resistant bacteria in activated sludge». En: *Chemosphere* 66.9, 1643-1651. Online: <https://bit.ly/2SvQ2pb>.
- Martínez Rodríguez, Elena (2005). «Errores frecuentes en la interpretación del coeficiente de determinación lineal». En: *Anuario jurídico y económico escurialense* 38, 315-331. Online: <https://bit.ly/2IFLiOq>.
- Mátyás, Bence y col. (2018). «Comparing organic versus conventional soil management on soil respiration». En: *F1000Research* 7, Online: <https://bit.ly/2IGwLBR>.
- Morse, Audra y Andrew Jackson (2003). *Fate of a representative pharmaceutical in the environment*. Inf. téc. Online: <https://bit.ly/2Nu7hq4>: Texas Water Resources Institute.
- Olea, F. (2016). «Técnicas estadísticas aplicadas en nutrición y salud». En: *Departamento de Nutrición y Bromatología*. UGR, págs. 15-31.
- RStudio, ed. (2016). *RStudio Version 1.0.143*.
- Ramírez Cando, L. y col. (2017). «Environmental Assessment of Flax Straw Production for Non-Wood Pulp Mills». En: *Chemical Engineering Transactions* 58, 787-792. Online: <https://bit.ly/2HbBvxh>.
- Ramírez Cando, Lenin J., Santiago P. Guerra Guevara y Gabriela A. Reinoso Molina (2017). «In vitro evaluation of lead removal in wastewater by *Photobacterium damsela*». En: *LA GRANJA. Revista de Ciencias de la Vida* 26.2, 155-162. Online: <https://bit.ly/2T7EUo1>.
- Reig, Milagro y Fidel Toldrá (2008). «Veterinary drug residues in meat: Concerns and rapid methods for detection». En: *Meat science* 78.1-2, 60-67. Online: <https://bit.ly/2IGBmE7>.
- Rumiñahui, GAD. (2014). *Plan De Desarrollo Y Ordenamiento Territorial de Rumiñahui*. Inf. téc. Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Rumiñahui.
- Scientific, BIOO. (2018). *Pruebas de Tira de AuroFlow™*. Inf. téc. Austin TX: PerkinElmer Company, Copyright 2018 Bioo Scientific Corporation.
- Talero Pérez, Verónica, Oscar Julio Medina y Wilson Roza-Núñez (2014). «Técnicas analíticas contemporáneas para la identificación de residuos de sulfonamidas, quinolonas y cloranfenicol». En: *Universitas Scientiarum* 19.1, 11-28. Online: <https://bit.ly/2IluFl4>.
- Tamtam, Fatima y col. (2008). «Occurrence and fate of antibiotics in the Seine River in various hydrological conditions». En: *Science of the Total Environment* 393.1, 84-95. Online: <https://bit.ly/2IBEi4P>.
- Taroco, R., V. Seija y R. Vignoli (2006). «Métodos de estudio de la sensibilidad antibiótica». En: *Temas de Bacteriología y Virología Médica, Oficina del libro FEFMUR, Uruguay* 36.1, 665-668. Online: <https://bit.ly/2VtA7df>.
- Toledo, Metter (2017). *SevenGo Duo TM PH / Conductivity Meter SG23*.
- Uyumbicho, GAD. (2014). *Actualización Del Plan Del Desarrollo y Ordenamiento Territorial de La Parroquia Rural de Uyumbicho 2015 - 2019*. Inf. téc. Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial rural de Uyumbicho 2014 - 2019.
- Volfredo Camacho, J. (2010). *Los antimicrobianos en la práctica médica*. Inf. téc. Online: <https://bit.ly/2vNp19I>.



DINÁMICA DE LOS PEQUEÑOS PRODUCTORES DE LECHE EN LA SIERRA CENTRO DE ECUADOR

SMALL-FARMERS DYNAMICS IN THE SIERRA OF ECUADOR

Christian Franco-Crespo*, Lilian Victoria Morales Carrasco , Nelson
Rodrigo Lascano Aimacaña  y Giovanna Alejandra Cuesta Chávez 

Departamento de Investigación y Desarrollo-DIDE, Universidad Técnica de Ambato, Campus Huachi, Ambato, Ecuador

*Autor para correspondencia: cd.franco@uta.edu.ec

Manuscrito recibido el 30 de enero de 2019. Aceptado, tras revisión, el 14 de agosto de 2019. Publicado el 1 de septiembre de 2019.

Resumen

La estructura agraria en el Ecuador tiene una marcada diferenciación debido a la tenencia y acceso a la tierra. El crecimiento de la producción pecuaria dentro de las pequeñas y medianas explotaciones ha sido constante en los últimos años, así como la feminización del campo. En la serranía del Ecuador, estos procesos pueden observarse con mayor detalle, especialmente en aquellas provincias que se encuentran en el centro del país. Esto ha motivado a analizar la dinámica de los pequeños productores de las provincias de Chimborazo, Cotopaxi y Tungurahua, por medio de la aplicación de una encuesta a 793 agricultores, donde se revisan las características socio-productivas relacionadas con la producción de leche de ganado bovino. Los resultados demuestran que, comparativamente, la producción de leche se concentra en extensiones entre 0,5 y 1 hectárea, siendo la provincia de Tungurahua en donde existe una mayor distribución del tamaño de las explotaciones; sin embargo, la provincia de Chimborazo mantiene un rango de ingresos familiares superiores a las otras dos provincias. Se concluye que los incentivos sobre factores que mejoren la modernización de las explotaciones pueden incidir directamente en los ingresos familiares que no superan el 40% la remuneración básica mensual del Ecuador.

Palabras clave: Producción lechera, economía familiar, Tungurahua, caracterización agricultura familiar.

Abstract

The agrarian structure in Ecuador has an unequal access to land. The growth of livestock production within small and medium farms has been constant in recent years, as well as the feminization of the agriculture. In the Sierra of Ecuador, these processes can be observed with more detail, especially in provinces located in the Sierra center. This has motivated to analyze the dynamics of the small producers of the provinces of Chimborazo, Cotopaxi and

Tungurahua. This work shows the results of a survey that allows to analyze, from a sample of 793 farmers, the socio-productive characteristics of the bovine milk farms. Results show that, comparatively, milk production is concentrated in extensions between 0.5 and 1 hectares, being the province of Tungurahua the one with more size distribution of the farms; however, the province of Chimborazo maintains a higher range of family income than the other two provinces. Finally, it is concluded that incentives on factors that improve the modernization of farms can affect family income that does not exceed 40% of the basic monthly remuneration.

Keywords: Milk production, family income, Tungurahua, household-farming characterization

Forma sugerida de citar: Franco-Crespo, C., Morales C., L.V., Lascano A., N.R. y Cuesta Ch., G.A. (2019). Dinámica de los pequeños productores de leche en la Sierra centro de Ecuador. La Granja: Revista de Ciencias de la Vida. Vol. 30(2):103-120. <http://doi.org/10.17163/lgr.n30.2019.09>.

IDs Orcid:

Christian Franco-Crespo: <http://orcid.org/0000-0002-4818-4350>

Lilian Victoria Morales Carrasco: <http://orcid.org/0000-0001-7026-4544>

Nelson Rodrigo Lascano Aimacaña: <https://orcid.org/0000-0001-6735-8873>

Giovanna Alejandra Cuesta Chávez: <http://Orcid.org/0000-0002-0626-9196>

1 Introducción

La agricultura es un importante rubro dentro de las economías de los países. La producción pecuaria, en muchos casos, resulta más importante que la agricultura, ya que provee de leche y carne con proteínas y enzimas de alta demanda en la población. Según Steinfeld y Chilonda, (2006), desde los años 90 se ha incrementado el consumo de carne y leche de bovino, a medida que los ingresos de la clase media de países en desarrollo aumentan. Los países productores como China, India y Brasil representan el 65 % de producción de carne y el 52 % de producción de leche a nivel mundial. Se estima que para el año 2024 los países en desarrollo ampliarán su oferta cerca del 80 % del mercado mundial (OECD-FAO, 2015). En cuanto a Latinoamérica, Brasil y Argentina se encuentran a la cabeza de la oferta pecuaria, mientras que Colombia posee el 58 % (5,8 millones de vacas) de la producción pecuaria (Ormel, 2013). Por su parte, Ecuador, registró en el año 2016 alrededor de 4,1 millones de cabezas de ganado bovino por encima de países como Perú o Bolivia (Corporación Financiera Nacional, 2017).

La producción de leche en Ecuador se concentra en la provincia de Pichincha con más de 845 000 litros/año (2016), en segundo lugar, está la provincia de Azuay con 561 000 litros/año y, en tercer lugar, Cotopaxi con cerca de 484 000 litros/año. La Sierra andina de Ecuador abarca la mayor cantidad de producción de leche a nivel nacional, lo que equivale al 64 % de la producción, mientras que la región Costa ocupa el 30 %, y la región Oriental mantiene un 6 % (INEC, 2016). Según el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC, 2016), el 73 % de la leche que se produce (3,86 millones de litros) se destina a la comercialización. En este periodo, las ventas del sector lácteo sumaron USD 23 millones, sin considerar los ingresos por exportaciones.

La producción lechera mantiene una estructura definida en cada región en Ecuador. Por ejemplo, en la Sierra, las unidades productivas tienen un tamaño de tres hectáreas en promedio (Requelme y Bonifaz, 2012). Sin embargo, se identifican tres niveles de producción entre 1-5 ha, 7-20, y entre 20-120 hectáreas. Además, Requelme y Bonifaz, (2012) resaltan que el promedio de producción de leche en el primer nivel (1-5 ha) es de 4,7 litros/vaca/día. Por este motivo, el presente trabajo tiene como pro-

pósito analizar las dinámicas de los pequeños productores de leche de tres provincias que componen la Sierra centro de Ecuador: Cotopaxi, Tungurahua y Chimborazo, mediante un estudio que comprende 793 encuestas realizadas a pequeños productores con la finalidad de conocer las dinámicas socio-productivas, partiendo de la necesidad de profundizar los estudios que analicen a las pequeñas explotaciones de leche, ingresos y distribución del hato en la Sierra centro.

1.1 Revisión de la literatura

La agricultura es uno de los sectores que genera empleo, en especial en países en desarrollo. En muchos casos, esto sucede debido a la falta de tecnificación de las unidades productivas, lo que requiere mayor mano de obra, tanto de tipo asalariada como familiar (Sumpsi, 2010). Por lo que, la agricultura es una fuente de ingresos, si no es la única, de las familias campesinas. En América Latina se identifican dos sistemas de producción: la agricultura extensiva de tipo agroexportadora, y la agricultura intensiva o agricultura familiar. Esta división está marcada por el desigual acceso a factores de producción como: tierra, riego, crédito o información, limitando la capacidad de los agricultores, así como su desarrollo económico (Franco-Crespo y Sumpsi Viñas, 2017). A la agricultura familiar se le atribuye el 65 % de los alimentos que llegan a los mercados locales. Sin embargo, la reticencia al riesgo ha permitido la adaptación de los sistemas de producción para obtener ingresos familiares a corto plazo por medio de la diversificación de la producción familiar. Por una parte, la producción de hortalizas y vegetales se ha convertido en una fuente de ingresos en ciclos cortos de producción. Inclusive, se han establecido explotaciones familiares de producción de leche a cargo de las mujeres que genera ingresos semanales (Glikman, 1991).

La FAO, (2013) concluye que los procesos económicos a nivel territorial han provocado una alta concentración de la feminización de la agricultura. En este sentido, el rol de la mujer dentro de las actividades agrícolas cada vez es más protagonista dada la necesidad de que los hombres realicen actividades asalariadas en la ciudad. En especial, los pequeños productores han encontrado en la producción de leche una alternativa para obtener ingresos en efectivo de forma semanal, así como es-

tablecer un sistema de aseguramiento y resiliencia al riesgo que permita afrontar emergencias económicas del núcleo familiar a través de la tenencia de ganado (Mena-Vásconez, Boelens y Vos, 2016).

Entonces, la agricultura familiar tiene un espacio importante dentro de la estructura agrícola de Ecuador y de otros países de Sudamérica. La subdivisión de la tierra, así como las limitaciones generadas por las fallas del mercado a las que se enfrenta este grupo de agricultores, ocasiona que se enmarque a la agricultura familiar en un ambiente de desigualdad en el acceso a los recursos. Como tal, la agricultura familiar se concentra en extensiones de entre 1 y 5 hectáreas (ha), con un aporte mayoritario de uso de mano de obra de tipo familiar para las tareas agrícolas (Schejtman, 2008).

En el caso de Ecuador, se registran para el año 2013, alrededor de 377 434 unidades productivas que poseen entre 1 y 20 hectáreas. Es decir, el 89 % de las unidades productivas, categorizadas como pequeños agricultores, poseen alrededor del 55 % del total de superficie agrícola disponible (MAGAP, 2016). Si se detalla al grupo de pequeños agricultores que poseen entre 1 y 5 hectáreas, se observa que en este rango se concentra el 69 % de productores

con apenas el 5,7 % de tenencia de tierra (MAGAP, 2016)(Tabla 1).

En la Tabla 1, se puede observar una comparación de la producción de leche entre las provincias de Cotopaxi, Tungurahua y Chimborazo. La comparación entre los años 2015 y 2017 demuestra una inestabilidad en la producción en las tres provincias. Además, en cuanto al rendimiento que se mide en el número de litros (l) y la Unidad Bovina Adulta (UBA), se observa que la provincia de Tungurahua posee un mayor rendimiento (8,71 l/UBA), Cotopaxi en segundo lugar (8,05 l/UBA) y Chimborazo con el menor rendimiento (6,65 l/UBA).

El acceso limitado a la tierra es la principal característica de la pequeña agricultura, la misma que se concentra en la Sierra centro de Ecuador. Así también, el empleo de mano de obra y la presencia de fallas de mercado influyen en el comportamiento de los agricultores (Wiggins, Kirsten y Llambí, 2010; Mumba y col., 2011; Louhichi y Paloma, 2014), en especial sus dinámicas productivas y económicas en torno a la producción de leche en pequeños productores (De Janvry y Sadoulet, 2006; Grisa y Schneider, 2008; Murphy y col., 2014).

Tabla 1. Descripción de las características de la producción lechera en la zona Sierra centro del Ecuador entre los años 2015 y 2017.

Año	Descripción	Provincias					
		Cotopaxi		Tungurahua		Chimborazo	
		Cantidad	Variación(%)	Cantidad	Variación(%)	Cantidad	Variación(%)
2016	Posicionamiento de la Producción Nacional de leche*	7.00 %		6.00 %		7.00 %	
2015	Producción de	529 614		330 239		405 036	
2016	leche cruda	483 699	-9	355 679	8	458 181	13
2017	(litros)	514 759	6	297 060	-16	431 325	-6
2015	Número de	234 615		120 199		208 509	
2016	cabezas de	221 960	-5	126 754	5	228 500	10
2017	ganado	254 709	15	108 133	-15	222 316	-3
2015	Número de	65 673		39 505		59 990	
2016	vacas	61 179	-7	40 470	2	72 524	21
2017	ordeñadas	63 932	4	34 103	-16	64 846	-11

* Índice a nivel nacional

Fuente: (INEC, 2016; MAGAP, 2016)

Por otra parte, los estudios relacionados con la descripción de las características de los pequeños productores de leche se enfocan en un análisis de variables a nivel socioeconómico que considera al cantón como la estructura en donde se producen las dinámicas de intercambio entre los productores rurales y las urbes (Escobar y Berdegú, 1990; Tobar, 2010). Es así que Landín, en Escobar y Berdegú, (1990), propone la tipificación de los productores lecheros en el Ecuador a partir de estudios anteriores (Barsky, 1984; ILDES, 1988). En las explotaciones entre 2300 y 2800 msnm, existe una mayor presencia de explotaciones medianas (>10 ha) y grandes (>50) (Larrea y col., 2008), mientras que entre 2900 y 3500 msnm, en donde existe déficit de riego, se ubican las explotaciones con menos de 5 ha (Bretón, 2012).

En el Ecuador se identifica un grupo de productores rentistas, los cuales no participan en procesos de mejora e innovación tecnológica, y, por otra parte, existen otros grupos de productores en donde el nivel de ingresos está en proporción directa con la capacidad de inversión tecnológica (Barragán, 2010). Entonces, en las provincias de Cotopaxi, Tungurahua y Chimborazo resalta el rol de la agricultura y en especial de la producción de leche dentro de las unidades familiares de producción agrícola (Chiriboga, 2003). Por su estructura, estas provincias poseen características de participación de agricultura familiar, además de las explotaciones que cuentan con mano de obra asalariada. Esto determina que la agricultura se convierte en una fuente de ingresos familiares (Louhichi y Paloma, 2014).

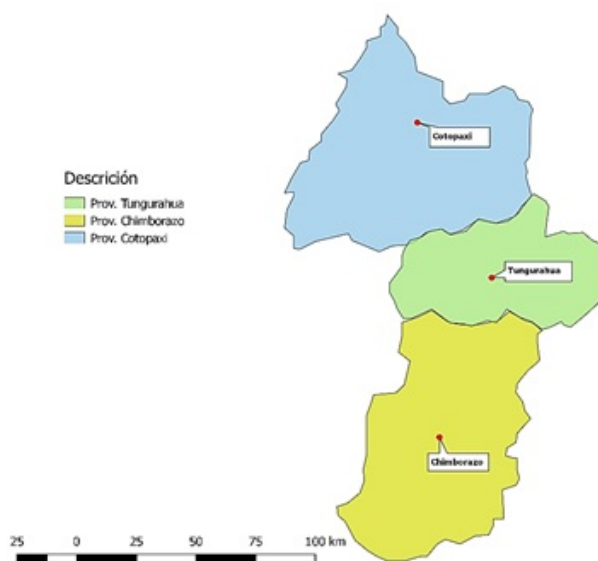


Figura 1. Identificación de las provincias participantes del estudio entre junio y octubre del 2018.

2 Materiales y Métodos

El presente estudio se basa en un trabajo de investigación coordinada en tres provincias de la Sierra centro del Ecuador: Cotopaxi, Tungurahua y Chimborazo. El propósito de esta investigación es reconocer las características de las pequeñas explotaciones de producción de leche de manera comparativa entre provincias. Para cumplir con este objetivo, se estableció una muestra en base a la información del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca (MA-

GAP) respecto de las bases de datos de productores de leche cruda de las tres provincias al año 2017. También se analizaron las condiciones de tipificación según Landín, en Escobar y Berdegú, (1990).

El instrumento de levantamiento de información fue aplicado según la muestra bajo selección al azar. Los componentes de la encuesta se fijaron en la recopilación de información de la situación socioeconómica de los productores, así como su relación con los factores de producción y acceso al mercado.

La fórmula empleada (Mantilla, 2015) para el cálculo de la muestra se indica en la ecuación 1. En donde n = a la muestra, Z = es la desviación del valor medio que aceptamos para lograr el nivel de confianza deseado (95 %), p = proporción de la población, y e = es el margen de error aceptado (3 %).

$$n = \frac{Z^2 p(1-p)}{e^2} \quad (1)$$

La encuesta fue aplicada entre los meses de junio a octubre del año 2018. En total se recopilaron 793 encuestas. En este sentido, se procedió a aplicar la fórmula del muestreo aleatorio simple a una población de 28 270 productores de Cotopaxi (Salcedo, Latacunga), Tungurahua (Pelileo, Píllaro), Chimborazo (Riobamba, Chunchi y Guamate). Las encuestas aplicadas por provincia suman 366 en Cotopaxi, 321 en Tungurahua y 106 en Chimborazo.

El formulario de encuesta tuvo como prueba piloto en el año 2015 la aplicación en la parroquia de San Andrés, del cantón Píllaro de la provincia de Tungurahua. La estructura del instrumento tuvo como referencia la Encuesta de Condiciones de Vida, desarrollada por el INEC para el año 2015. La información y evidencias reposan en los archivos del Proyecto 'La cadena productiva de la leche y la productividad de Cotopaxi, cantón Latacunga' y 'Cadena productiva del sector lechero en la provincia de Tungurahua, cantón Píllaro'. Los registros de los productores se codificaron de acuerdo con cada provincia y se realizaron preguntas de comprobación en los casos de producción e ingresos para más certeza de los resultados obtenidos. Para la validación del cuestionario se aplicó una prueba piloto con una muestra total de 10 productores por cantón con un total de 140, posterior a la prueba piloto se realizaron los ajustes al instrumento aplicado. De esta forma, se plantearon 8 bloques de preguntas.

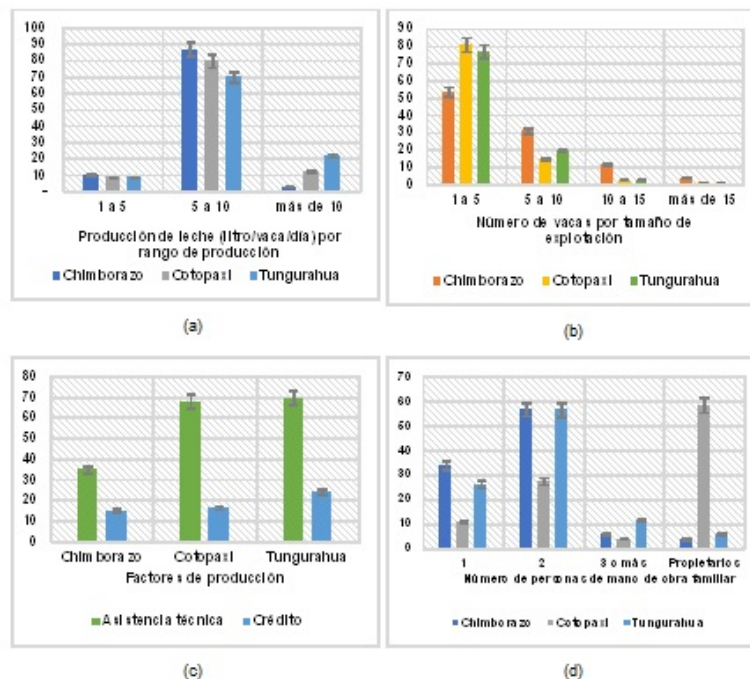


Figura 2. Resumen de los datos obtenidos de la muestra de las provincias de Chimborazo, Cotopaxi y Tungurahua (a) Producción de leche por rango de producción, (b) Número de vacas por tamaño de explotación, (c) Factores de producción que tienen acceso los productores, y (d) Número de personas de mano de obra familiar.

Tabla 2. Estadístico descriptivo de la muestra.

Estadísticos	Crédito	Tipo de Alimentación (Balanceados)	Tipo de Alimentación (Banano)	Mano de Obra Familiar	Mano de Obra Contratada	Mano de Obra Eventual Contratada	Cantidad Hectáreas Cultivadas de Pasto	Cantidad Hectáreas Naturales de Pasto	Regadío	Fuente Regadío	Acceso a Asistencia Técnica
Media	2563	1295	1842	1704	1176	1333	469	854	1081	2553	1359
Error típico	78	20	16	29	128	142	29	30	10	30	17
Mediana	2000	1000	2000	2000	1000	1000	180	625	1000	3000	1000
Moda	2000	1000	2000	2000	1000	1000	90	350	1000	3000	1000
Desviación estándar	903	456	365	694	529	492	527	666	273	834	480
Varianza de la muestra	815	208	134	482	279	242	277	443	74	696	231
Curtosis	-1032	-1188	1532	3593	9795	-1650	4874	3249	7533	-235	-1659
Coefficiente de asimetría	921	904	-1878	1150	3136	812	2066	1957	3085	-1329	587
Rango	3000	1000	1000	5000	2000	1000	2960	3750	1000	2000	1000
Mínimo	1000	1000	1000	1000	1000	1000	40	100	1000	1000	1000
Máximo	4000	2000	2000	6000	3000	2000	3000	3850	2000	3000	2000

La encuesta se aplicó en las parroquias de las tres provincias. En el cuestionario se recabó la información en función de un grupo de variables e indicadores. Para la validación de correlación del instrumento se analizaron los resultados tabulados mediante la aplicación del Alpha de Cronbach y se observa Cotopaxi (0,561), Chimborazo (0,686) y Tungurahua (0,657). Para el procesamiento estadístico, así como para la obtención de correlaciones, se utilizó Excel estableciendo gráficas comparativas, correlaciones simples y un análisis de medida de variación y valor cuadrático general, respectivamente. Las variables corresponden a los factores de producción, así como de parámetros relacionados con la tecnificación, como pastos y raza de gana-

do, relativos con la mejora de la productividad. En los análisis planteados se seleccionan las relaciones que evidencian un nivel de significatividad menor a 0,05 con un nivel de confianza del 95%, lo que permite realizar una inferencia a toda la población. La Tabla 2 presenta los resultados descriptivos de los productores de leche de las tres provincias.

En la Tabla 3 se presenta el estadístico descriptivo de la muestra, considerando las variables estudiadas en este trabajo. En esta tabla se muestran los valores estadísticos que indican la distribución de los datos para el total de datos obtenidos mediante encuestas en las tres provincias.

3 Resultados y Discusión

El estudio identifica que el 92,01% de los productores en la provincia de Cotopaxi de hasta 1 hectárea poseen entre 1 y 10 unidades bovinas en producción. En el caso de la provincia de Tungurahua, el 86,36% posee entre 1 y 5 unidades bovinas. Así también, en la provincia de Chimborazo, el 82,64% se encuentra en el mismo rango de unidades bovinas. En general, se identifican las explotaciones por tamaño de tierra, dada en tres categorías: (1) 0,1 a 0,5, ha (2) más de 0,5 a 1 ha, y (3) más de 10 hectáreas. En la Tabla 2 se observan el sistema de producción, recursos disponibles (número de vacas, superficie cultivada, riego y mano de obra) y otros fac-

tores de producción (crédito y asistencia técnica), hallados entre los productores. Por otra parte, en la Tabla 4 se presenta una descripción de los factores socioeconómicos de la población analizada. Aquí se puede ver la composición por mano de obra dentro de la explotación, fuente de crédito y asistencia técnica. De manera general, se observa que la mano de obra familiar tiene mayor presencia en comparación con la mano de obra contratada, así como la mano de obra eventual. En cuanto a la asistencia técnica en Chimborazo, más de los dos tercios declara no haberla recibido, a diferencia de Cotopaxi y Tungurahua. También, las Cooperativas son la principal fuente de financiamiento en las tres provincias.

Tabla 3. Caracterización de las explotaciones por provincia, según información recopilada en el año 2018.

Factor	Descripción	Provincia					
	(ha)	Chimborazo		Cotopaxi		Tungurahua	
		Frecuencia	Porcentaje (%)	Frecuencia	Porcentaje (%)	Frecuencia	Porcentaje (%)
Número de Vacas	1 a 5	57	53,77	296	80,87	247	76,95
	5 a 10	33	31,13	55	15,03	63	19,63
	más de 10	16	15,09	15	4,1	11	3,42
	Total	106	100	366	100	321	100
Producción (Litro/Vaca/Día)	1 a 5	11	10,38	31	8,47	27	8,41
	5 a 10	92	86,79	291	79,51	224	69,78
	más de 10	3	2,83	44	12,02	70	21,81
	Total	106	100	366	100	321	100
Cantidad de Hectáreas cultivadas de pasto	0,1 a 0,5	33	31,13	201	54,92	18	5,61
	0,5 a 1	-	-	46	12,57	40	12,46
	más de 1	-	-	16	4,37	8	2,49
	No tiene	73	68,87	103	28,14	255	79,44
	Total	106	100	366	100	321	100
Cantidad de hectáreas naturales de pasto	0,1 a 0,5	49	46,23	28	7,65	45	14,02
	0,5 a 1	57	53,77	73	19,95	137	42,68
	más de 1	-	-	8	2,19	85	26,48
	No tiene	-	-	257	70,22	54	16,82
	Total	106	100	366	100	321	100
Cuenta con agua para regadío	Si	106	100	347	94,81	276	85,98
	No	-	-	19	5,19	45	14,02
	Total	106	100	366	100	321	100
Fuente de regadío	Público	85	80,19	22	6,01	61	19,00
	Junta de Agua	21	19,81	344	93,99	218	67,91
	N/C	-	-	-	-	42	13,08
	Total	106	100	366	100	321	100

En resumen, en la figura anterior se resalta que la producción de leche mantiene frecuencias absolutas entre los 5 y 10 l/UBA/día, siendo la provincia de Chimborazo la que presenta mayor producción (Figura 2a). En el caso del número de vacas por explotación la frecuencia absoluta se observa en 1 y 5 UBAs, con mayor cantidad para la provincia de Cotopaxi (Figura 2b). Además, se observa que la asistencia técnica se desarrolla con mayor frecuencia en las provincias de Tungurahua y Cotopaxi (Figura 2c). Finalmente, en cuanto a la mano de obra familiar empleada por explotación, Cotopaxi concentra la mayor cantidad de propietarios directos que trabajan en la finca, mientras que en Chimborazo y Tungurahua se promedia en dos personas de la familia que mantienen una actividad permanente en la explotación (Figura 2d).

Por otra parte, respecto a los pastos no cultivados, el porcentaje tiene la misma relación. Es así

que en la provincia de Cotopaxi el 87,16% de los productores poseen entre 1 y 10 unidades bovinas en producción. En la provincia de Chimborazo, el 96,97% de los productores se encuentra en este mismo rango; sin embargo, en la provincia de Tungurahua solamente el 67,79% de los encuestados se encuentran en este rango. En cuanto a la variación entre unidades bovinas y el tamaño de explotación, en la Figura 3a se presenta la concentración de unidades bovinas entre las explotaciones que no superan la 1 ha de extensión, en especial entre aquellas que se ubican entre 0,5 y 1 ha. En comparación con la Figura 3b, existe una dispersión de la tenencia de unidades bovinas entre unidades de menor tamaño a las 0,5 ha hasta 1 ha. (Figura 3).

Mientras, en la Figura 3c se observa que la distribución del número de especies bovinas se distribuye entre las explotaciones de 0,5 ha y 3 ha. Sin embargo, el mayor número está entre las 0,5 y 1

Tabla 4. Identificación de los factores socioeconómicos por provincia, según información recopilada en el año 2018.

Factor	Descripción	Chimborazo		Cotopaxi		Tungurahua	
		Frecuencia	Porcentaje(%)	Frecuencia	Porcentaje(%)	Frecuencia	Porcentaje(%)
Cantidad de mano de obra familiar en la producción de leche	1	36	33,96	39	10,66	84	26,17
	2	60	56,60	100	27,32	181	56,39
	3 o más	6	5,66	14	3,83	37	11,53
	Propietarios	4	3,77	213	58,20	19	5,92
	Total	106	100	366	100	321	100
Cantidad de la mano de obra contratada en la producción de leche	1	4	3,77	2	0,55	9	2,80
	2	-	-	-	-	1	0,31
	3 o más	-	-	-	-	1	0,31
	No contrata	102	96,23	364	99,45	310	96,57
	Total	106	100	366	100	321	100
Cantidad de mano de obra eventual contratada en la producción de leche	1	-	-	3	0,82	5	1,56
	2	-	-	1	0,27	3	0,93
	3 o más	-	-	-	-	-	-
	No contrata	106	100	362	98,91	313	97,51
	Total	106	100	366	100	321	100
Acceso a asistencia técnica	Si	37	34,91	248,0	67,76	223	69,47
	No	69	65,09	118,0	32,24	98	30,53
	Total	106	100	366	100	321	100
Fuentes de financiamiento de sus actividades	Propias	90	84,91	306	83,61	243	75,70
	Crédito	16	15,09	60	16,39	78	24,30
	Total	106	100	366	100	321	100
Fuente de crédito	Proveedores	-	-	-	-	1	1,28
	Coop. de Ahorro y Crédito	11	68,75	47	78,33	47	60,26
	Financieras	-	-	-	-	3	3,85
	Bancos	1	6,25	12	-2	25	32,05
	Familiar	4	25,00	-	-	-	-
	No requiere	-	-	1	1,67	2	2,56
	Total	16	100	60	100	78	100

ha. Entonces, en el análisis comparativo se puede mencionar que Cotopaxi mantiene explotaciones de producción lechera con extensiones de menos de 0,5 ha. Por otra parte, en la provincia de Chimborazo estas explotaciones de producción de leche se ubican entre las 0,5 y 1 ha. En cambio, las explotaciones de producción de leche en la provincia de Tungurahua presentan un rango más amplio, aun que persiste la concentración entre 0,5 y 1 ha.

Al analizar esta comparación entre las explotaciones de mayor tamaño (superior a 101 casos analizados), aquellas explotaciones que tienen un mayor tamaño tienden a ser más eficientes en Tungurahua, comparadas con aquellas que se ubican en la provincia de Cotopaxi. Si se analizan estos resultados con la descripción presentada en la Figura 2c y Figura 2d, la asistencia técnica es mayor en las provincias de Tungurahua y Cotopaxi. Sin embargo, la mayor cantidad de mano de obra familiar ocurre en la provincia de Chimborazo.

En la Figura 4 se presentan los resultados de los ingresos directos de la producción de leche consolidado para las tres provincias. De forma comparativa, el número de UBAs en los tres rangos considerados (1-5, 6-10 y 11-20) plantea una condición de productividad en función de la cantidad de ingresos que pueden obtener producto de la venta de la leche. Aquellas explotaciones que poseen entre 1 y 5 vacas obtienen ingresos menores a USD 386,00 por mes. Por otra parte, las explotaciones que mantienen hatos entre 6 y 10 vacas promedian ingresos de entre 386 USD/mes y 900 USD/mes. En último lugar, se encuentran las explotaciones con más de 11 unidades bovinas que generan más de 900 USD/mes. Como caso particular, Tungurahua presenta en el rango de 1-5 UBAs ingresos de más de \$900. Por otra parte, Cotopaxi presenta en el rango 6-10 UBAs el mismo nivel de ingresos, mientras Chimborazo es la provincia con menor número de UBAs en este rango de ingresos.

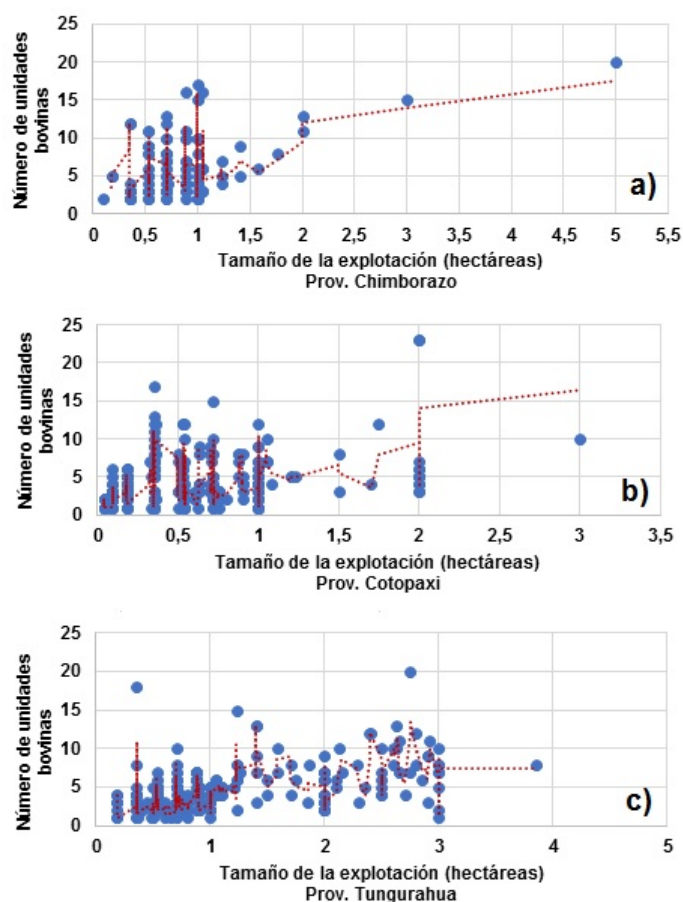


Figura 3. Relación del número de unidades bovinas por tamaño de explotación por cada provincia (a) Unidades bovinas en la provincia de Chimborazo, (b) Unidades bovinas en la prov. de Cotopaxi, y (c) Unidades bovinas en la prov. de Tungurahua.

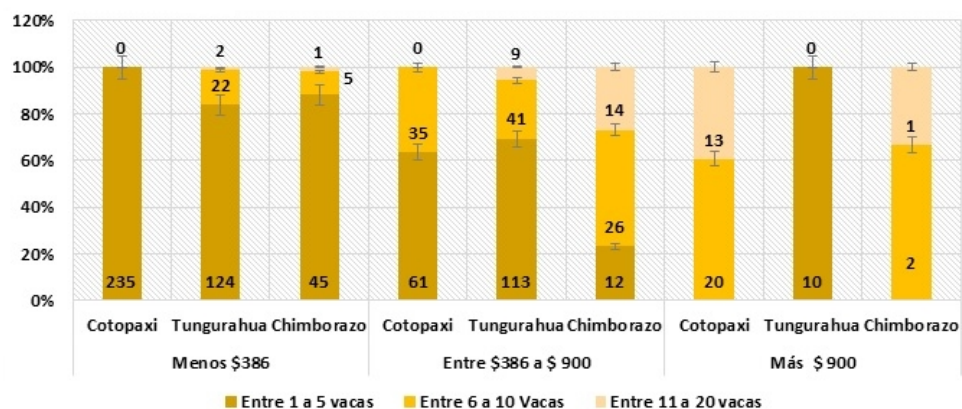


Figura 4. Rango de unidades bovinas y nivel de ingresos por la venta de leche por provincia.

En relación a los ingresos comparativos que generan las explotaciones de acuerdo con su provincia, aquellas que se encuentran en Chimborazo concentran ingresos de entre 300 USD/mes y 800 USD/mes, en las explotaciones mayores a 0,5 ha y 1 ha. Las explotaciones de más de 1 ha generan mayores ingresos en esta misma provincia, pero el número de casos es menor. Por otra parte, se debe resaltar que las explotaciones de más de 1 ha de Cotopaxi y Tungurahua mantienen una constante en la generación de ingresos (menos unidades bovinas en producción) entre 100 y 200 USD/mes (Figura 5).

Los ingresos familiares que provienen de la venta de leche son más altos en la provincia de Chimborazo con 485 USD/mes. En segundo lugar, la provincia de Tungurahua mantiene explotaciones que permiten el ingreso familiar de más de 360 USD/mes. En cambio, las explotaciones que se ubican en la provincia de Cotopaxi generan un poco más de la mitad de los ingresos que se obtienen en el primer caso, siendo los ingresos por familia de más de 260 USD/mes (Figura 6).

En este caso, las variables que influyen en un mejor rendimiento del hato ganadero son aquellas que han provocado la modernización de las explotaciones. Es decir, se supone que las explotaciones que mantienen estas características de innovación tendrán la capacidad de producir ingresos, incluso si corresponden a extensiones de tamaño pequeño (0,5 a 1 ha) o poseen menos unidades bovinas (1 a 5 vacas). Los resultados obtenidos permiten evidenciar que la provincia de Chimborazo posee un mayor rendimiento respecto a Cotopaxi y Tungurahua. Si bien los resultados propuestos por el INEC para el año 2015 indican que la provincia de Chimborazo mantiene, de forma comparativa con las otras dos provincias, un menor rendimiento (6,65 l/UBA), así también los ingresos analizados que perciben las familias por concepto de la producción y venta de leche (hasta cinco unidades bovinas equivalente al 42,25 %), alcanzan menos de una remuneración básica unificada (USD394). Al comparar los ingresos familiares por provincia, la provincia de Cotopaxi presenta que las explotaciones analizadas perciben menos de USD260/mes.

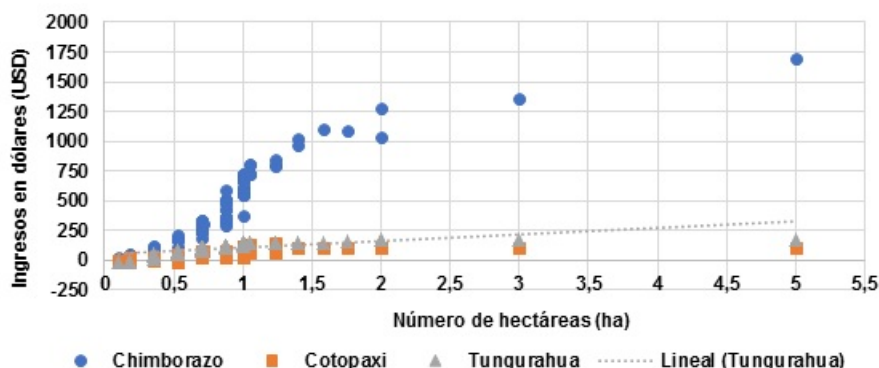


Figura 5. Comparativo de ingresos por provincia.

Por otra parte, en la Tabla 5 se presentan los resultados de la correlación entre variables determinadas al inicio de la aplicación del instrumento de investigación. Aquellas correlaciones significativas corresponden a aquellos factores que tienen relación con la innovación de las explotaciones de pro-

ducción pecuaria en las tres provincias. Aquellos factores que se relacionan con superficie de pastos cultivados, mejora genética, alimento complementario, asistencia técnica e instalaciones tecnificadas, aparecen como significativas.

Tabla 5. Resultados del análisis de correlación para las variables planteadas de la muestra en cada provincia.

	Hu Cullivudus de Pato	Ganado Raza Holstein	Ganado Raza Pardo Suiza	Ganado Raza Meisla Jersey	Ganado Raza Jersey	Tipo de Alimentación (Pasto)	Tipo de Alimentación (Balançado)	Tipo de Alimentación (Bananos)	Acceso a asistencia técnica	Mejora tecnológica	Información tecnológica	Modernización instituciones	Mejora de la alimentación	Número de veces ordenó	Tipo de orden
TUNGURAHUA															
Correlación de Pearson	,644**	,856**	,b	,149*	0,09	-,156**	-,402**	,160**	-,388**	-,124*	,189**	,155**	0,038	,911**	,447**
PRODUCCION (HATOS/MES)															
N	0	0	-	0,034	0,655	0,005	0	0,004	0,139	0,026	0,001	0,006	0,501	0	0
Sig. (bilateral)	66	201	1	203	27	321	321	321	321	321	321	321	321	321	321
CHIMBORAZO															
Correlación de Pearson	,547**	,745**	-,b	,614**	0,761	-,b	,212*	-,b	-,b	-,b	-,b	-,b	-,b	,965**	,390**
Sig. (bilateral)	0	0	-	0	0,239	-,b	0,029	-,b	-,b	-,b	-,b	-,b	-,b	0	0
N	104	49	0	81	4	106	106	0	0	0	0	0	0	106	106
COTOPAXI															
Correlación de Pearson	,481**	,767**	-,0,409	,666**	0,421	-,0,034	,216**	0,097	-,0,009	0,024	-,0,049	-,159*	-,0,019	,950**	,363**
Sig. (bilateral)	0	0	0,42	0	0,104	0,656	0	0,198	0,908	0,748	0,768	0,32	0,035	0,806	0
N	262	77	6	338	16	176	364	176	176	176	176	176	176	364	364

** La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

* La correlación es significativa en el nivel 0,05 (bilateral).

c. No se puede calcular porque, como mínimo, una de las variables es constante.

Al aplicar el análisis de medida de variación en conjunto a los datos obtenidos en las tres provincias (Cotopaxi, Tungurahua y Chimborazo), se encuentran diferencias significativas entre ellas, para lo cual se aplica una prueba post-hoc (Tukey), a fin de identificar cuál es la provincia que presenta mayores diferencias respecto de las demás, en función

de las variables más significativas (Tabla 6). La Tabla 6, presenta los resultados del análisis de medida de variación entre el grupo de variables identificados con correlación significativa, de tal forma que se toman para realizar post-hoc Tukey que se presentan en las siguientes tablas.

Tabla 6. Resultado de la medida de variación y valor cuadrático para las tres provincias.

Descripción		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Tipo de Alimentación del ganado (Banano)	Entre grupos	10,791	1	10,791	95,985	,000
	Dentro de grupos	55,651	495	,112		
	Total	66,443	496			
Número de vacas por hato	Entre grupos	528,929	2	264,465	28,875	,000
	Dentro de grupos	7217,336	788	9,159		
	Total	7746,265	790			
Producción (Hato/mes)	Entre grupos	40645527,511	2	20322763,756	24,544	,000
	Dentro de grupos	652466338,734	788	828002,968		
	Total	693111866,245	790			
Cantidad de hectáreas Cultivadas de Pasto	Entre grupos	13,419	2	6,709	25,760	,000
	Dentro de grupos	111,738	429	,260		
	Total	125,157	431			
Cantidad de hectáreas naturales de pasto	Entre grupos	23,419	2	11,709	26,975	,000
	Dentro de grupos	175,799	405	,434		
	Total	199,217	407			
Cantidad ganado raza Holstein	Entre grupos	169,186	2	84,593	9810	,000
	Dentro de grupos	2794,031	324	8,624		
	Total	2963,217	326			
Cantidad ganado raza mestizo/criollo	Entre grupos	571,364	2	285,682	74,019	,000
	Dentro de grupos	2389,073	619	3,860		
	Total	2960,437	621			
Acceso a asistencia técnica	Entre grupos	10,474	2	5,237	24,055	,000
	Dentro de grupos	171,559	788	,218		
	Total	182,033	790			
Modificación de instalaciones del hato	Entre grupos	5,723	1	5,723	26,857	,000
	Dentro de grupos	105,488	495	,213		
	Total	111,211	496			

En la Tabla 7, se observa que la provincia que presenta mayores diferencias respecto del número de vacas por hato es Chimborazo. La media del número de vacas por hato en Chimborazo corresponde a 6, mayor que el promedio de Tungurahua y Cotopaxi, ambas con un promedio de 4.

Por otra parte, en la Tabla 8 los resultados comparativos establecen que la provincia que presenta mayores diferencias en la variable cantidad de hectáreas cultivadas de pasto es Cotopaxi. La media de Cotopaxi es de 0,39 hectáreas de pasto cultivadas, menor que en las provincias de Chimborazo (0,74 ha) y Tungurahua (0,76 ha).

Tabla 7. Resultados del análisis de correlación por número de vacas por hato.

Comparaciones múltiples				
Variable dependiente: HSD Tukey				
(I) Provincias		Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.
TUNGURAHUA	COTOPAXI	,665*	0.232	0.012
	CHIMBORAZO	-1,869*	0.339	0
COTOPAXI	TUNGURAHUA	-,665*	0.232	0.012
	CHIMBORAZO	-2,534*	0.334	0
CHIMBORAZO	TUNGURAHUA	1,869*	0.339	0
	COTOPAXI	2,534*	0.334	0

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0,05.

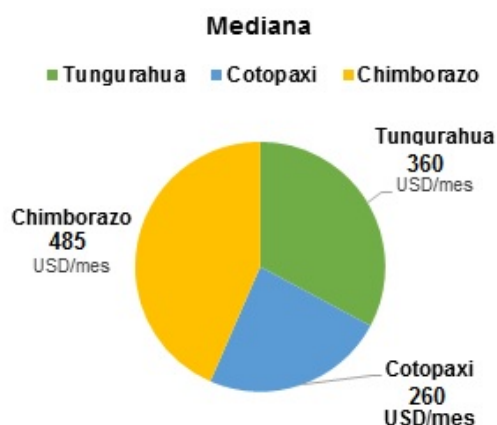


Figura 6. Comparativo de ingreso familiar por producción lechera por provincia.

En la Tabla 9 la provincia de Tungurahua exhibe mayores diferencias en la variable hectáreas naturales de pasto. La provincia de Tungurahua posee la mayor extensión de pastos naturales con una media de 1,10 ha, respecto de Cotopaxi (0,65) y Chimborazo (0,45 ha).

En la Tabla 10 se observa que la provincia de Cotopaxi refleja las mayores diferencias respecto del ganado de raza Holstein con un promedio de 3

vacas (Holstein) por hato, inferiores a Tungurahua (5) y Chimborazo (4). Finalmente, la provincia de Chimborazo posee las mayores diferencias en asistencia técnica. El 65 % de los encuestados en Chimborazo dice no haber recibido asistencia técnica, es decir, que tan solo el 35 % si lo ha hecho. Por otra parte, un 68 % en Cotopaxi y un 69 % en Tungurahua, indican que si recibieron asistencia técnica (Tabla 11).

3.1 Discusión de los resultados

Los resultados obtenidos en esta investigación demuestran que existen parámetros que incrementan la capacidad de los pequeños productores lecheros. Considerando el inequitativo acceso a factores de

producción, en especial el tamaño de las explotaciones (1 ->10 ha) este resulta un limitante por la disponibilidad de pastos para los alimentos de las UBAs. En este sentido, se observa una concentración del número de vacas en el rango de entre 1-5

Tabla 8. Resultados del análisis de correlación por cantidad de hectáreas de pasto cultivadas.

Comparaciones múltiples				
Variable dependiente: HSD Tukey				
(I) Provincias		Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.
TUNGURAHUA	COTOPAXI	,37435*	0.07029	0
	CHIMBORAZO	0.02267	0.08032	0.957
COTOPAXI	TUNGURAHUA	-,37435*	0.07029	0
	CHIMBORAZO	-,35168*	0.05915	0
CHIMBORAZO	TUNGURAHUA	-0.02267	0.08032	0.957
	COTOPAXI	,35168*	0.05915	0

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0,05.

Tabla 9. Resultados del análisis de correlación por cantidad de hectáreas de pastos naturales.

Comparaciones múltiples				
Variable dependiente: HSD Tukey				
(I) Provincias		Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.
TUNGURAHUA	COTOPAXI	,44687*	0.07513	0
	CHIMBORAZO	,64429*	0.12157	0
COTOPAXI	TUNGURAHUA	-,44687*	0.07513	0
	CHIMBORAZO	0.19742	0.13105	0.289
CHIMBORAZO	TUNGURAHUA	-,64429*	0.12157	0
	COTOPAXI	-0.19742	0.13105	0.289

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0,05.

Tabla 10. Resultados del análisis de correlación en las tres provincias por cantidad de ganado de raza Holstein.

Comparaciones múltiples				
Variable dependiente: HSD Tukey				
(I) Provincias		Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.
TUNGURAHUA	COTOPAXI	1,439*	0.394	0.001
	CHIMBORAZO	-0.739	0.468	0.256
COTOPAXI	TUNGURAHUA	-1,439*	0.394	0.001
	CHIMBORAZO	-2,178*	0.537	0
CHIMBORAZO	TUNGURAHUA	0.739	0.468	0.256
	COTOPAXI	2,178*	0.537	0

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0,05.

Tabla 11. Resultados del análisis de correlación para las tres provincias por acceso a asistencia técnica

Comparaciones múltiples				
Variable dependiente: HSD Tukey				
(I) Provincias		Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.
TUNGURAHUA	COTOPAXI	-0.016	0.036	0.894
	CHIMBORAZO	-,346*	0.052	0
COTOPAXI	TUNGURAHUA	0.016	0.036	0.894
	CHIMBORAZO	-,330*	0.051	0
CHIMBORAZO	TUNGURAHUA	,346*	0.052	0
	COTOPAXI	,330*	0.051	0

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0,05.

UBAs en las tres provincias, destacándose por tener el mayor valor (80,87 %) la provincia de Cotopaxi. Además, en promedio la cantidad de leche producida por día en el hato es mayor para el rango entre 5-10 UBAs. Además, predomina el empleo de mano de obra familiar.

Las diferencias observadas a nivel de las tres provincias identifican que la provincia de Tungurahua mantiene un nivel más alto de participación de (a) asistencia técnica y (b) crédito para los productores, mientras que Cotopaxi se encuentra de segundo y Chimborazo con la menor participación. Al respecto, el tamaño de explotaciones por provincia varía en cuanto a su extensión. Es decir, en la provincia de Chimborazo existe una concentración entre 0,5-1 ha, Cotopaxi varía entre 0,1 y 1 ha, sin embargo, en Tungurahua esta concentración se amplía en el rango de 0,5 y 3 ha. Al respecto, se observa de forma general que las extensiones de alrededor de 1 ha pueden alcanzar ingresos de entre 250 y 500 USD/explotación. Sin embargo, las provincias de Cotopaxi y Tungurahua son aquellas que se encuentran en el umbral más bajo de los ingresos percibidos.

Por otra parte, las variables que presentan una correlación significativa son: tamaño del hato, tipo de ordeño, modernización de las instalaciones, raza de ganado y tipo de alimentación. En especial, esta condición se mantiene para las tres provincias. Es decir, que las políticas encaminadas a mejorar las capacidades de las explotaciones de agricultura familiar que incentiven estos factores pueden lograr incrementar los ingresos de los agricultores, así como la calidad de vida de las familias campesinas.

4 Conclusiones

La investigación tuvo como propósito analizar las dinámicas de los pequeños productores de leche de tres provincias que componen la Sierra centro de Ecuador: Cotopaxi, Tungurahua y Chimborazo, mediante un estudio que comprende 793 encuestas realizadas a pequeños productores. Los resultados alcanzados en este estudio describen las condiciones de la agricultura familiar, en específico la producción de leche. La tipología identificada a partir de la metodología permite reconocer a extensiones entre 1 y más de 10 hectáreas, como las explotaciones que predominan en la muestra analizada. En este sentido, se observan diferencias en las capacidades de las explotaciones por provincia. Es decir, en el caso de Tungurahua, existen mejores condiciones para desarrollar una producción lechera a pequeña escala, considerando las limitaciones por acceso a tierra, tecnificación y factores de producción.

El acceso de recursos que se relacionan con la modernización e innovación de los hatos representa un factor importante que incide positivamente en la producción y generación de ingresos familiares. Por lo que aquellas explotaciones en donde se ha incorporado la modernización de sus explotaciones (tecnología, alimentación y raza del ganado) favorecen a mejorar su productividad.

Finalmente, se concluye que la política pública a lo largo de los últimos años, en donde se introdujeron recursos para el desarrollo de la agricultura, no presenta una evidencia de mejora de las características de acceso a recursos para los pequeños

productores, repercutiendo en la cantidad de ingresos familiares percibidos. Es decir, los niveles de ingresos se mantienen por debajo de la remuneración básica a nivel familiar, a pesar de que existen intentos porque el rendimiento supere la media nacional. Además, persisten las limitaciones de subparcelación y constitución de "microhatos" ganaderos que proveen de ingresos a las familias de productores, con limitaciones que lo perfilan como explotaciones de subsistencia.

Referencias

- Barragán, Fernando (2010). «Redes espaciales de abastecimiento de lácteos en Ecuador». En: *PRODIG-Universidad París 1 Panteón-Sorbona*, Online: <https://bit.ly/2Z7Orxk>.
- Barsky, Osvaldo (1984). *Acumulación campesina en el Ecuador*. Vol. 1. Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales.
- Bretón, Víctor (2012). *Toacazo: en los Andes equinociales tras la reforma agraria*. 333.31091724. Online: <https://bit.ly/2Z5BQ9G>: FLACSO-ABYA YALA.
- Chiriboga, M. (2003). «Innovación, Conocimiento y Desarrollo Rural». En: *Segundo Encuentro de la Innovación y el Conocimiento para Eliminar la Pobreza Rural*, Online: <https://bit.ly/303DdHv>.
- Corporación Financiera Nacional (2017). *FICHA SECTORIAL: Cría y Reproducción de Ganado Bovino*. Inf. téc. Online: <https://bit.ly/304RqUm>: Corporación Financiera Nacional.
- De Janvry, Alain y Elisabeth Sadoulet (2006). «Progress in the modeling of rural households' behavior under market failures». En: *Poverty, inequality and development*. Springer, 155-181. Online: <https://bit.ly/2OVn3ig>.
- Escobar, Germán y Julio Berdegué (1990). «Tipificación de sistemas de producción agrícola». En: Online: <https://bit.ly/2uD9tmH>.
- FAO (2013). *FAO: la agricultura familiar produce más del 70% de los alimentos de Centroamérica*. Inf. téc. Online: <https://bit.ly/2KPjswH>.
- Franco-Crespo, Christian y Jose Sumpsi Viñas (2017). «The Impact of Pricing Policies on Irrigation Water for Agro-Food Farms in Ecuador». En: *Sustainability* 9.9, 1515. Online: <https://bit.ly/33B7HCX>.
- Glikman, P. (1991). *Encadenamientos de producción en la economía campesina en el Ecuador*. Vol. 1. Online: <https://bit.ly/2L5SO4n>: Agroamerica.
- Grisa, Catia y Sergio Schneider (2008). «"Plantar pro gasto": a importância do autoconsumo entre famílias de agricultores do Rio Grande do Sul». En: *Revista de Economia e Sociologia Rural* 46.2, 481-515. Online: <https://bit.ly/2ZZxFh4>.
- ILDES (1988). *El problema agrario en el Ecuador*. ILDIS.
- INEC, ed. (2016). *Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua*. INEC.
- Larrea, Carlos y col. (2008). «Mapas de pobreza, consumo por habitante y desigualdad social en el Ecuador: 1995-2006; metodología y resultados». En: *Documento de trabajo/Programa Dinámicas Territoriales Rurales*. RIMISP-Centro Latinoamericano para el Desarrollo Rural; no. 13, Online: <https://bit.ly/33yevRI>.
- Louhichi, Kamel y Sergio Paloma (2014). «A farm household model for agri-food policy analysis in developing countries: Application to smallholder farmers in Sierra Leone». En: *Food Policy* 45, 1-13. Online: <https://bit.ly/2MimKW7>.
- MAGAP (2016). *La política agropecuaria ecuatoriana*. Inf. téc. Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca.
- Mantilla, F. (2015). «Técnicas de muestreo. Un enfoque en la investigación de Mercados». En: *Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE*, Online: <https://bit.ly/2NFuCrD>.
- Mena-Vásconez, Patricio, Rutgerd Boelens y Jeroen Vos (2016). «Food or flowers? Contested transformations of community food security and water use priorities under new legal and market regimes in Ecuador's highlands». En: *Journal of Rural Studies* 44, 227-238. Online: <https://bit.ly/302pYGN>.
- Mumba, C. y col. (2011). «Economic analysis of the viability of smallholder dairy farming in Zambia». En: *Food* 42, 26-8. Online: <https://bit.ly/2KQaAHp>.
- Murphy, M. y col. (2014). «Comparison of modelling techniques for milk-production forecasting». En: *Journal of dairy science* 97.6, 3352-3363. Online: <https://bit.ly/2Z7YgqW>.
- OECD-FAO (2015). *Agricultural Outlook 2015-2044*. Online OECD.
- Ormel, P. (2013). *América Latina y el Caribe en el contexto mundial de los productos de origen animal: Leche vacuna*.

- Requelme, N. y N. Bonifaz (2012). «Caracterización de sistemas de producción lechera de Ecuador». En: *La Granja* 27.1, 68-109. Online: <https://bit.ly/2TFJfOJ>.
- Schejtman, A. (2008). *La Agricultura Familiar en América Latina*.
- Steinfeld, H. y P. Chilonda (2006). *Perspectiva Mundial*. Roma.
- Sumpsi, J. M. (2010). *El nuevo sistema agroalimentario en una crisis global*. Madrid.
- Tobar, Jaime (2010). *Criterios de tipificación y caracterización de la Agricultura Familiar en El Salvador*. Inf. téc. Online: <https://bit.ly/2InFEQv>, 1-12. Online: <https://bit.ly/2InFEQv>.
- Wiggins, Steve, Johann Kirsten y Luis Llambí (2010). «The future of small farms». En: *World development* 38.10, 1341-1348. Online: <https://bit.ly/2TvLVvC>.



ANÁLISIS ESPACIAL DE LAS UNIDADES EDUCATIVAS DEL MILENIO EN EL ECUADOR Y SU COBERTURA EN ZONAS DE POBREZA

SPATIAL ANALYSIS OF EDUCATION MILLENNIUM UNITS IN ECUADOR AND ITS COVERAGE OVER POVERTY AREAS

Gustavo Ernesto Navas^{*1} , Robinson Llerena Paz¹  y Fernando Vaca² 

¹ Carrera de Ingeniería de Sistemas, Universidad Politécnica Salesiana, Av. Moran Valverde y Rumichaca, Quito, Ecuador

² Grupo De Investigación Infraestructura De Datos Espaciales, Inteligencia Artificial Geoportales Y Computación Aplicada IDEIAGEOCA, Instituto Geográfico Militar, Av. Seniergues y Gral. Telmo Paz y Miño, Quito, Ecuador

*Autor para correspondencia: gnavas@ups.edu.ec

Manuscrito recibido el 8 de octubre de 2018. Aceptado, tras revisión, el 28 de marzo de 2019. Publicado el 1 de septiembre de 2019.

Resumen

Uno de los parámetros que más influyen en la pobreza es la mala calidad en la educación. El estudio sistemático de la pobreza es fundamental para mejorar la aplicación de planes y proyectos. En el Ecuador, a partir del año del 2005 inicia el "Proyecto para mejorar las condiciones de escolaridad, el acceso y la cobertura de la educación" en zonas de alto índice de pobreza a través del Gobierno Nacional (Ministerio de Educación, 2016). Este estudio realiza un análisis espacial de dicho proyecto gubernamental del Ecuador mediante el uso del software libre. Dicho análisis se fundamenta en la existencia de las instituciones educativas públicas denominadas "Unidades Educativas del Milenio" (UEM), cuyo fin es mejorar la calidad académica, satisfacer la demanda estudiantil rural y atender a sectores históricamente relegados, partiendo de 57 unidades educativas operativas en el año 2016 y utilizando técnicas de análisis espacial estadístico, apoyados en una base de datos relacional robusta como es el caso de PostgreSQL, con el fin de determinar cuál es su área de afectación a la población, creando varios tipos de coberturas para identificar las parroquias y el porcentaje de pobreza que es atendido por este proyecto educacional, logrando determinar que existe un 77% y el 96% de UEM, en zonas de extrema pobreza.

Palabras clave: Análisis espacial estadístico, UEM, unidades educativas del milenio, análisis espacial, PostgreSQL-PostGIS, pobreza.

Abstract

One of the most influence parameters in poverty is the poor quality of education. The systematic study of poverty is essential to improve the implementation of plans and projects. Since 2005, Ecuador began the 'Project to improve education conditions, schooling access and coverage of education' on high poverty areas through the National Government (Ministerio de Educación, 2016). This study performs a Spatial Analysis of the above governmental project of Ecuador by the use of free software. This analysis is based in the existence of public educational institutions called 'Millennium Educational Units', whose purpose is to improve academic quality, meet rural student demand and serve historically relegated sectors. It is sought using statistical spatial analysis techniques, supported by a robust relational database such as PostgreSQL for determining their impact area on the population by creating various types of coverage to identify the parishes and the poverty percentage that is being benefited by this educational project, managed to determine that there is a percentage between 77 % and 96 % of UEM, located in areas of extreme poverty.

Keywords: Statistical Spatial Analysis, UEM, millennium educational units, spatial analysis, PostgreSQL-PostGIS, poverty.

Forma sugerida de citar: Navas, G.E., Llerena Paz, R. y Vaca, F. (2019). Análisis espacial de las unidades educativas del milenio en el Ecuador y su cobertura en zonas de pobreza. *La Granja: Revista de Ciencias de la Vida*. Vol. 30(2):121-133. <http://doi.org/10.17163/lgr.n30.2019.10>.

IDs Orcid:

Gustavo Ernesto Navas: <https://orcid.org/0000-0002-2811-0282>

Robinson Llerena Paz: <https://orcid.org/0000-0003-1512-2759>

Fernando Vaca: <https://orcid.org/0000-0003-3375-2236>

1 Introducción

La UNICEF y en particular la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) destacan la importancia del monitoreo sistemático de la pobreza para reducirla y lograr un país más equitativo (Unicef Ecuador, 2015). La educación en Ecuador ha carecido de un nivel académico de calidad en las poblaciones más pobres; en el 2005 se inicia el proyecto educativo Unidades Educativas del Milenio el cual pretende reducir esta brecha y llegar a niños y niñas de recursos económicos limitados (Ministerio de Educación, 2016).

Las Unidades Educativas del Milenio (UEM), es un proyecto de dotación de Institutos Educativos públicos de nivel primario y secundario que se creó para mejorar la educación del país y llegar a los sectores pobres, por tal razón sus edificaciones están ubicadas en sectores históricamente relegados a nivel nacional, que cuentan con altos índices de necesidades básicas insatisfechas y problemas sociales como la migración interna y externa, con instituciones educativas caracterizadas por la baja calidad educativa y por la ausencia de las condiciones mínimas para la formación de niñas, niños y jóvenes (Ministerio de Educación, 2016).

La primera UEM se construyó en el año 2008 en la parroquia de Zumbahua, ubicada en la provincia de Cotopaxi. Según información del Ministerio de Educación (1 noviembre 2013) hasta el año 2013 se construyeron 31 UEM, a un costo de USD 69'318.199,30, las cuales atienden a 23.282 estudiantes; y 33 UEM están siendo construidas (programa 'Nueva Infraestructura Educativa'). La página del Ministerio presenta información actualizada al 2015 donde se indica que hay 53 UEM en funcionamiento, 60 en construcción y 212 por construirse (Ministerio de Educación, 2016). Los Geoportales en el Ecuador han permitido tener un inventario georreferenciado de proyectos estatales como son: zonas de riesgo, reservas naturales y todo aquello que puede ser apreciado sobre un mapa (Navas y Prieto, 2011). La información de Geoportal del (Ministerio de Educación, 2016) fue la base del estudio realizado.

El 19 de enero del 2016 en la página del (Ministerio de Educación, 2016) se publica la noticia sobre la inauguración de la Unidad Educativa del

Milenio (UEM) Nueva Generación en la provincia de Morona Santiago. Este estudio está basado en el 89,8 % de unidades educativas construidas hasta la fecha de la toma de datos en el año 2016. Las Unidades Educativas del Milenio son parte integral de la política gubernamental para mejorar la calidad de la educación pública. Cada UEM se construye para garantizar el acceso de la población escolar de las zonas rurales permanentemente excluidas de los servicios educativos (Ministerio de Educación, 2016). Las UEM se basan en varios criterios de ubicación para su construcción.

Para el estudio las principales son (Peñafiel Larrea, Freddy, 2014): a) localización del predio, el cual no debe estar ubicado en zonas de riesgo; además, debe estar ubicado en un sitio de fácil acceso para la población; y de preferencia, debe estar localizado cerca de áreas verdes de uso público y áreas recreativas; b) accesibilidad al predio: deberá contar con infraestructura vial de primer, segundo y tercer orden; asimismo, deberá brindar condiciones de fácil acceso para los vehículos de servicio de emergencia, bomberos, transporte de pasajeros, recolectores de basura e ingreso de insumos; y de preferencia, deberá contar con dos vías de acceso claramente definidas. Finalmente, c) el área del terreno es de 2,2 hectáreas, equivalente a 22.000 metros cuadrados.

En el presente trabajo se plantea un método que ha permitido medir la cobertura de pobreza que tiene cada una de las UEM, empleando herramientas de software libre y técnicas de análisis espacial estadístico; de igual forma, permite observar la relación con las parroquias pobres del Ecuador, utilizando técnicas propuestas por el modelo (Bertolotto y McArdle, 2011) que incluyen el uso de herramientas de análisis espacial de software libre PostgreSQL - PostGIS y del visualizador web Open layer, utilizado por los mapas de Geoserver para mostrar los resultados obtenidos.

La representación de las propiedades geométricas de objetos espaciales, así como sus estructuras son cruciales para operaciones GIS, análisis y visualización (Groger y Betsy, 2012). Los tipos de datos espaciales se refieren a formas tales como puntos, líneas y polígonos (Boundless Server, 2012), los datos en sí son elementos vectoriales, que pueden ser puntos, líneas y polígonos juntos con sus atributos,

y estos pueden ser representados mediante gráficos de barras y pasteles que indican porcentajes o tendencias (Peters, 2012). Los datos de las entidades geográficas también pueden mostrarse con distribuciones espaciales (Fu y Jiulin, 2011), para lograrlo los datos se han almacenado en una base de datos PostgreSQL con su extensión espacial PostgreSQL-PostGIS. El análisis espacial tiene múltiples aplicaciones en la salud, agricultura, defensa, seguridad, catastros, planificación, servicios de localización, transporte, geología, energía, y utiliza diversos formatos para la gestión de la información como son: XML, GeoJson, Xslt, entre otros (Shklar y Rich, 2011; Babar, 2010; Ayen López, 2012). El análisis espacial se genera a través de una serie de operaciones tales como superposición de capas, uniones, intersecciones espaciales, operación de borrado y análisis de proximidad (Martínez Llario, 2013).

Para el presente trabajo se han empleado básicamente operaciones de unión, intersección y buffer, que por medio de sentencias especializadas en el manejo de geometrías de puntos y polígonos y con la ayuda de herramientas estadísticas se puede llegar a comprobar si las UEM están situadas en las parroquias más pobres del Ecuador y determinar qué porcentaje del nivel de pobreza se cubre por cada parroquia. Existen muchas herramientas que permiten ejecutar cada una de las operaciones antes mencionadas, por ejemplo, ArcGIS y MapInfo, que son aplicaciones pagadas cuyo costo es elevado y QGIS que es una aplicación libre.

La ventaja de usar una base de datos relacional como PostgreSQL con su extensión PostGIS radica en que no se requiere ingresar a la interfaz gráfica de la aplicación GIS, que amerita conocimiento específico de la herramienta por parte del usuario. Una base de datos relacional permite ingresar directamente la información y las operaciones que se requieren ejecutar, la misma que al estar enlazada con la aplicación gráfica, posibilita que se visualice el resultado en forma transparente para el usuario. Adicionalmente el registro de nueva información en la base de datos no impide que todas las operaciones establecidas sigan siendo aplicables al nuevo universo de datos.

La utilización de una base de datos relacional, nos permite potenciar el uso de las herramientas que disponen estos programas tecnológicos de aná-

lisis espacial; un ejemplo es obtener la ubicación geográfica que tienen estas Unidades Educativas, además identificar cuáles y qué tipo de poblaciones se verán beneficiadas.

1.1 Descripción de datos

Los sectores pobres se encuentran localizados en el mapa socio económico del Ecuador, donde se presentan índices de pobreza por cada parroquia, esta información fue obtenida de la página web de la Universidad del Azuay (Universidad del Azuay, 2018) (<http://gis.uazuay.edu.ec/>). La medición de pobreza requiere una previa definición conceptual de aquella realidad social que se pretende medir, por lo que existen varios indicadores o índices de pobreza que remiten ineludiblemente a los paradigmas o enfoques de la pobreza, como son el índice GINI, y el índice de las necesidades básicas insatisfechas (NBI) que sirve para identificar las carencias críticas de necesidades elementales como educación, salud y vivienda.

El índice de GINI (Economipedia, 2018), es una medida de carácter económico para calcular la desigualdad de ingresos existente entre los habitantes del área de estudio; normalmente se utiliza para medir la desigualdad en los ingresos dentro de un país, pero puede utilizarse para medir cualquier forma de distribución desigual. El coeficiente de Gini es un número entre 0 y 1, en donde 0 se corresponde con la perfecta igualdad (todos tienen los mismos ingresos) y donde el valor 1 se corresponde con la perfecta desigualdad (una persona tiene todos los ingresos y los demás ninguno) (Damm, 2013).

El NBI es un método directo para identificar carencias críticas en una población y caracterizar la pobreza utilizando cuatro áreas de necesidades básicas de las personas (vivienda, servicios sanitarios, educación básica e ingreso mínimo), disponibles en los censos de población y vivienda realizados por el INEC (INEC, 2010), y se ha considerado como el índice más apropiado para este estudio; siendo también el método implementado por la Comisión Económica para la América Latina (CEPAL) (INEC, 2017).

La información ofrecida por el INEC tiene datos de los porcentajes de pobreza de cada parroquia tabulados en un archivo de Excel, pero sin datos geo-

espaciales, a diferencia de los datos obtenidos de la página web de la Universidad de Azuay, en donde los datos de pobreza son representados por el índice GINI para cada parroquia que cuenta con sus respectivas coordenadas geográficas, guardados en un archivo de tipo shapefile. Para poder tener una tabla con índices NBI y la ubicación geográfica por parroquia se realizó una fusión de las dos tablas antes mencionadas, para lo cual se desarrolló una consulta PostgreSQL-PostGIS que enlaza estas dos tablas por medio del nombre de parroquias, cantones y provincias. El resultado obtenido en esta consulta fue del 60% del total de las parroquias, donde el 40% restante fue elaborado de manera manual. El fragmento de código indicado a continuación es una consulta SQL a la base de datos para enlazar los resultados.

```
select pp."provincia", pp."canton", pp."
    parroquia", pp."no_pobres", pp."pobres", pp.
    ."porcentaje_no_pobres", pp."
    porcentaje_pobres", po.the_geom
from "pobreza_porcentaje" pp, public."POBREZA"
    po
where pp."provincia"=po."PROVINCIA"
and pp."canton"=po."CANTON"
and pp."parroquia"=po."PARROQUIA"
```

La información y posición de las UEM fueron descargadas del geoportal del Ministerio de Educación, (2016) en extensión KML; las coordenadas obtenidas están en el sistema de coordenadas geográfico mundial WGS84 cuya equivalencia es el código EPSG: 4326. El WGS84 (World Geodetic System 1984) es un datum de cobertura global de todo el planeta Tierra y es el más comúnmente usado en la actualidad (Westra, 2013). En definitiva, para este análisis es necesario obtener dos tablas de datos, la primera que contiene la información de pobreza a nivel de parroquia, que es el producto de la fusión de los datos de la universidad del Azuay y del INEC, y la segunda tabla que corresponde a la ubicación geoespacial de las UEM.

1.2 Metodología

Los datos utilizados para el estudio fueron obtenidos del Geoportal del Ministerio de Educación, (2016) el cual despliega 53 coordenadas geográficas que representan la posición de cada establecimiento educativo. Para identificar si las UEM se encuentran en las zonas más necesitadas del país se realizó un análisis espacial con sentencias PostgreSQL-PostGIS. El análisis espacial es un conjunto de mé-

todos cuyos resultados cambian cuando las localizaciones de los objetos analizados también cambian (Huang, Li y Gartner, 2011). La diferencia entre una base de datos y una base de datos espacial son los datos espaciales que representan elementos geográficos. Estos datos espaciales abstraen y encapsulan estructuras espaciales como límites y dimensiones. Se estableció un área uniforme de estudio alrededor de cada unidad educativa (5, 10 y 20 Km), para realizar un muestreo y poder cuantificar el nivel de pobreza de las personas que asisten a estas instituciones educativas, ya que identificar y precisar la cobertura de los estudiantes que asisten a cada UEM es una tarea muy compleja debido a que la población del Ecuador se encuentra situada en varios sitios dispersos del país. Para poder realizar este cálculo se repartió la superficie a ser considerada como cobertura de cada establecimiento con la mayor eficacia posible respecto a los diferentes centros existentes que son las coordenadas de las UEM (Peter, 1977), en donde el movimiento desde el centro de cada área hasta sus sectores periféricos debe ser mínimo (Buzai, 2011).



Figura 1. Mapa de la ubicación de la UEM en un área de influencia circular de 5Km.



Figura 2. Mapa de la ubicación de UEM en un área de influencia circular de 10Km.

En su estudio Buzai, (2011), establece que los polígonos regulares brindan mejores resultados que los polígonos irregulares, y que el círculo es el polígono regular de mayores condiciones deseables. El área de influencia circular es un método de aproximación sencilla y fácil de implementar, pero se debe tomar en cuenta que esta metodología no considera la existencia de barreras, ni la red vial que es por donde normalmente se desplazan los estudiantes; en este tipo de análisis se recomienda que el área circular tenga un radio de 0.5 km en área urbana, tomando en cuenta que una persona se demora en trasladarse a pie de 5 a 10 minutos y en el área rural se puede incrementar considerablemente, ya que la posibilidad de solapamiento entre establecimientos es baja (Córdoba, 2012).

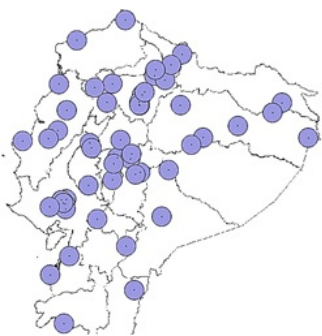


Figura 3. Mapa de la ubicación de UEM en un área de influencia circular de 20Km.

En este estudio no se clasificaron como rurales o urbanas a las zonas en donde se encuentran localizadas las UEM, por tal razón se las analizó de manera homogénea, generando para todas y cada una de las UEM tres coberturas circulares diferentes con radios de 5, 10 y 20 Km a la redonda, tomando en cuenta que el tiempo en trasladarse es aproximadamente de 5 a 30 min en transporte público. Cabe mencionar que la ordenanza municipal de Quito también considera áreas circulares en donde se dispone que los estudiantes deben vivir dos kilómetros a la redonda de los planteles educativos en zona urbana (Secretaría de Educación y Deporte, 2015). Las Figuras 1, 2 y 3 muestran el perfil del Ecuador político dividido por provincias y la ubicación de cada unidad educativa del milenio, donde las UEM están representadas por puntos generados en el sistema de coordenadas geográfico mundial WGS84, cuya equivalencia es el código EPSG:4326, que son los centroides de cada área circular de 5, 10 y 20 km de radio respectivamente, que tienen como fin indicar

el área de cobertura de cada unidad educativa.

Para este proceso de análisis también se ha tomado en cuenta otra ordenanza de los centros educativos municipales en la ciudad de Quito con respecto al sector rural, considerando que el estudiante deberá residir dentro de la parroquia en la cual está situado el establecimiento educativo (Secretaría de Educación y Deporte, 2015). Los resultados de pobreza de cada estudio con los diferentes parámetros que se ha sometido a la cobertura que tienen las UEM con respecto a la población, ayudarán a responder la interrogante de esta investigación, sobre si los establecimientos educativos en cuestión están ubicados en zonas pobres del Ecuador. Las coberturas estarán separadas por áreas de influencia circular con radios de 5, 10 y 20 km, se profundizará su estudio en el análisis de área circular y por áreas de influencia a nivel parroquial, y estas serán analizadas en los siguientes apartados.

1.3 Análisis por área circular

Para este análisis se realizó una intersección en PostgreSQL - PostGIS, entre las áreas circulares de las UEM y el mapa de pobreza como se indica en la Figura 4. Esta intersección indica la cobertura que tiene cada una de las UEM con respecto a las parroquias que se encuentran en el mapa de pobreza. El mapa resultante muestra circunferencias divididas en varios segmentos; estos segmentos son el área que abarca cada parroquia con respecto al área de influencia circular de cada UEM. Cada segmento cuenta con dos datos importantes, el porcentaje de área de la intersección entre la parroquia y la UEM y el porcentaje de pobreza que tiene cada parroquia a la que pertenece.

El área de influencia de cada UEM cubre a varias parroquias con diferentes porcentajes de pobreza. Cada fragmento de parroquia dentro de la circunferencia ha sido ponderado a razón del valor de su área, facilitando así el uso de la media ponderada, que es el promedio de cantidades a las cuales se ha asignado un coeficiente, denominado peso, para tener en cuenta adecuadamente su importancia relativa.

La media ponderada de un grupo de datos X_1, X_2, \dots, X_n , con sus correspondientes pesos W_1, W_2, \dots, W_n puede obtenerse a través de la fórmula

(1) (Paz, 2007).

$$\overline{X_w} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i W_i}{\sum_{i=1}^n W_i} \quad (1)$$

Asimismo, para conocer el índice de necesidades básicas insatisfechas (INBI) por cada centro

educativo se calculó la media ponderada con los datos obtenidos de la intersección, las tablas de datos geoespaciales de pobreza y la ubicación de UEM realizada con una consulta PostgreSQL - PostGIS en donde se analiza a profundidad el cálculo de la pobreza por cobertura circular.

```
select u."UEM",
mp."provincia",
mp."canton",
mp."parroquia",
mp."porcentaje_pobres",
mp."porcentaje_no_pobres",
st_area (u.st_buffer) as "area_uem",
st_area(st_intersection(st_transform(st_setsrid(mp.the_geom,4326),32717),u.st_buffer)) as "
area_parroquia_uem",
st_area(st_intersection(st_transform(st_setsrid(mp.the_geom,4326),32717),u.st_buffer))/ st_area
(u.st_buffer) as porcentaje_area,
sum((st_area(st_intersection(st_transform(st_setsrid(mp.the_geom,4326),32717),u.st_buffer)))/
st_area (u.st_buffer))*"porcentaje_pobres")
OVER (PARTITION BY "UEM" ORDER by UEM",1)/sum(st_area(st_intersection(st_transform(st_setsrid(
mp.the_geom,4326),32717),u.st_buffer))/st_area(u.st_buffer))
OVER (PARTITION BY "UEM" ORDER by "UEM",1) as media_ponderada,
st_intersection(st_transform(st_setsrid(mp.the_geom,4326),32717),u.st_buffer)
from "mapa_pobreza" mp,"cobertura_uem" u
WHERE ST_intersects(st_transform(st_setsrid(mp.the_geom,4326),32717),
u.st_buffer)
```

Tabla 1. Consulta PostGIS para obtener la pobreza por cobertura circular.

1.4 Cálculo de la pobreza por cobertura circular

La función *st_buffer* es utilizada para obtener el polígono circular alrededor del punto que representa a los establecimientos educativos. Esta arroja una geometría que envuelve al objeto con una distancia establecida a la geometría de entrada, en este caso la geometría resultante será un círculo que representa el área de influencia circular alrededor de la UEM. El análisis por área circular se centra en realizar una intersección entre polígonos circulares que representa la cobertura de las UEM y los polígonos de las parroquias contenidos en la tabla de pobreza del Ecuador; es decir, que el resultado de este estudio se basa en el análisis espacial que se realizó entre dos geometrías de tipo polígono.

Posteriormente con los datos obtenidos se calculó la media ponderada, cuyos pesos están dados por cada área resultante de la intersección. Este análisis se consiguió con el código que se muestra a continuación en la Tabla 1. Las columnas resultantes de

la consulta antes mencionada son el nombre de la UEM, la provincia, cantón, parroquia y el porcentaje de pobreza de cada parroquia. Estos primeros datos fueron obtenidos directamente de sus tablas correspondientes. A continuación, se detallan los siguientes datos con sus respectivas sentencias.

En la Figura 4 se puede apreciar que la cobertura de la UEM es el círculo de color rojo que es definido como el área de influencia circular. Para determinar la superficie de esta figura con sus respectivos radios de 5, 10 y 20 km se usa el código que se indica a continuación, cabe recalcar que en esta sección solo se indica cómo obtener el área con radio de 10km, ya que para 5 y 20 km se debe cambiar el valor en la función *st_buffer* de la sentencia, para el uso de esta función, el radio se debe transformar en metros:

Primero se crea la tabla en la Base de Datos:

```
Create table cobertura_uem as (select *,
st_buffer(the_geom,10000) from
Ubicacion_UEM )
```

Como siguiente paso se utilizó la tabla creada para calcular el área circular.

```
select area(st_buffer)
```

Para el área de intersección entre la cobertura UEM y las parroquias, primero se calcularon las coordenadas del contorno de la intersección, es decir la geometría (*the_geom*), con la función *st_intersection* para posteriormente realizar la transformación al sistema 32717 y obtener el área con la función *st_area*, donde el código es el siguiente:

```
Select st_intersection(st_transform(st_setsrid(
mp.the_geom,4326), 32717), u.st_buffer)
from "mapa_pobreza" mp, "cobertura_uem" u
```

El porcentaje de área se calculó dividiendo las dos áreas anteriores, es decir:

```
st_area(st_intersection(st_transform(st_setsrid(
mp.the_geom,4326), 32717), u.st_buffer))/
st_area(u.st_buffer) as porcentaje_area,
```

Cada UEM debe tener su porcentaje de pobreza en relación de los datos de pobreza de las parroquias que la intersecan, por lo que es necesario calcular la media ponderada de cada UEM, para lo cual se debe ordenar y particionar la consulta para realizar la sumatoria del producto entre el valor de cada porcentaje de pobreza (X_i) de cada parroquia

por la superficie que cubre el área circular a cada parroquia que interseca, este valor es el peso (W_i) que se le da al valor (X_i).

Por lo tanto, la consulta PostgreSQL-PostGIS para definir la Ecuación (1) viene dada por el siguiente código:

```
sum((st_area(st_intersection(st_transform(
st_setsrid(mp.the_geom,4326),32717),u.
st_buffer)))/st_area(u.st_buffer))*"
porcentaje_pobres") over (PARTITION BY "
UEM" ORDER by "UEM",1)/sum(st_area(
st_intersection(st_transform(st_setsrid(mp.
the_geom,4326),32717),u.st_buffer))/
st_area(u.st_buffer)) OVER (PARTITION BY
"UEM" ORDER by "UEM",1) as media_ponderada,
```

1.5 Análisis por parroquia

Para este análisis se tomó en cuenta que el área de influencia está dada por los límites de la parroquia a la que pertenece la UEM, por tal razón el porcentaje de pobreza que cubre cada UEM está dada por el índice de NBI de la parroquia en donde se encuentra ubicada. Al igual que en el análisis anterior, se utilizó el mapa de pobreza y la ubicación puntual de cada UEM.

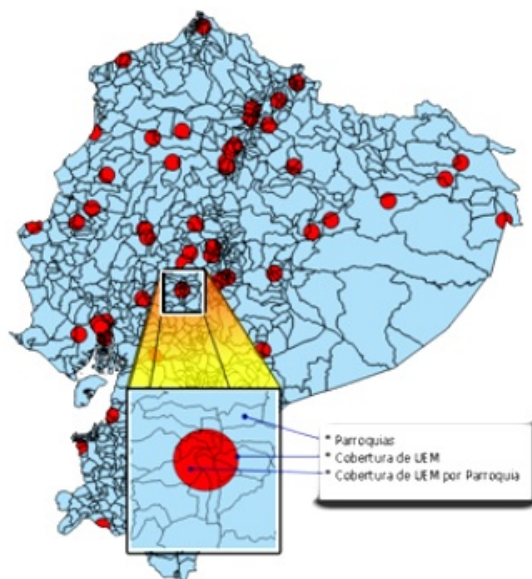


Figura 4. Mapa de las áreas que cubren las UEM en cada parroquia del Ecuador.

1.5.1 Cálculo de la pobreza por cobertura de parroquia

Primero se realizará una evaluación para verificar cuales puntos pertenecen a la ubicación de las UEM contenidas en los polígonos irregulares que repre-

sentan a la parroquia, esto se logra gracias a la sentencia *St_contains*, que es la que determina si una geometría está totalmente dentro de otra. La sentencia PostgreSQL-PostGIS utilizada en este caso es la siguiente.

```
CREATE TABLE UEM_PARROQUIAS AS (select u."UEM", mp."provincia", mp."canton", mp."parroquia", mp.
"porcentaje_pobres", mp.the_geom
from mapa_pobreza mp, ubicacion u
where st_contains (mp.the_geom, st_setsrid(u.the_geom,4326)))
```

1.6 Visor geoespacial

Para que estos resultados sean fácilmente legibles y entendibles se ha construido un visor geográfico con la ayuda de los programas mencionados anteriormente, los cuales son parte de OpenGeo suite (Boundless Server, 2012) que es un kit de desarrollo de Software (SDK) libre que proporciona las siguientes herramientas:

1.6.1 PostgreSQL-PostGIS

Como ya se mencionó PostgreSQL-PostGIS es una extensión de PostgreSQL que permite almacenar información de mapas y realizar análisis espaciales entre puntos, líneas, polígonos y otras formas geométricas (Boundless, 2012).

1.6.2 GeoServer

Es un servidor web que puede servir aislado o bien sobre un contenedor de aplicaciones Tomcat o similar. GeoServer tiene una interfaz de administración web que permite servir mapas y datos de diferentes formatos para aplicaciones Web o de escritorio como son los GIS.

1.6.3 OpenLayers

Es una librería de código abierto en javascript para hacer mapas interactivos, visibles fundamentalmente en entornos Web, que es capaz de conectarse con GeoServer (o con otras fuentes de mapas, como google maps), para presentar en un navegador las capas de un servidor de mapas/datos. Ofrece una interfaz de usuario simplificado que ataca a servicios WMS y WFS de forma transparente para el usuario y desarrollador (Morales, 2012; Hazzard, 2011; Perez, 2012). Cada uno de estos componentes

realizan un trabajo específico que se une bajo un esquema como se indica en la Figura 5 para llegar a tener una aplicación web de mapas.



Figura 5. Esquema del visualizador geográfico.

2 Resultados

Los datos expuestos en la Tabla 1 son el resultado del primer análisis donde se muestra el número de UEM que pertenece a cada rango de porcentajes de pobreza, y al área de influencia de los establecimientos educativos para los estudiantes que viven dentro de la zona circular de 5, 10 y 20 Km de radio,

incluyendo el análisis en el cual solo la población de la misma parroquia en donde se encuentra construida la UEM podrá ser beneficiada.

Si se toma como punto medio el 50% de pobreza, en la Tabla 2 se puede apreciar que los rangos que están por encima a este valor abarcan más del 70% de UEM en todas las áreas de influencia, indicando que la mayor parte de estos establecimientos están contruidos en zonas de pobreza y pobreza extrema. Se puede apreciar también una total ausencia de UEM en zonas donde la pobreza es menor al 25%. La Tabla 2, indica el porcentaje de UEM que están en las diferentes coberturas en rangos de 25% de pobreza. En donde se puede observar que:

- En los cuatro tipos de coberturas no se encuentra ninguna UEM en pobreza menor al 25%.
- En las cuatro coberturas el porcentaje de UEM aumenta mientras el porcentaje de pobreza es mayor.
- Existe una cantidad importante de UEM en rangos mayores al 75% de pobreza.

Los porcentajes son de 81%, 81%, 96% y 77%, respectivamente, considerando un universo de 53 UEM, tomando además como punto medio al 50% y realizando una sumatoria entre los rangos de 50%-75% y 75%-100% con cada área de cobertura circulares de 5, 10, 20 km y por parroquias; por tal razón se tomarán en consideración los porcentajes de pobreza mayores a 50% divididos en quintiles de 10%, para identificar la cantidad de establecimientos educativos por cada rango de pobreza. Al tener correctamente estructurada la data en una base de datos relacional se garantiza la consistencia de los datos y por ende de los resultados obtenidos.

Con la finalidad de facilitar el estudio se dividen los niveles de pobreza por quintiles denominadas como: baja (50%-60%), media baja (60%-70%), media (70%-80%), alta (80%-90%) y muy alta (90%-100%). La distribución de los centros educativos en pobrezas mayores a 50% son más equitativos, sin embargo, en la Figura 6 se indica una tendencia que va de la pobreza media alta en adelante.

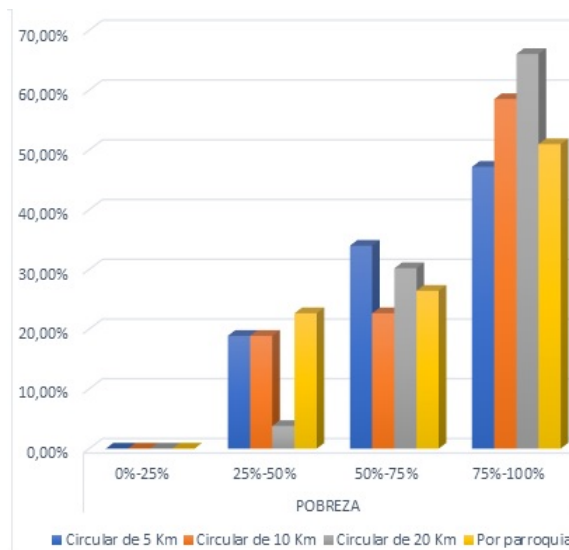


Figura 6. Porcentaje de UEM en rangos de pobreza.

Se puede apreciar en la Figura 7, que en las UEM en las cuatro áreas de cobertura los valores tienden a las zonas con pobreza media, aumentando en los tres primeros casos a la pobreza alta y muy alta. El nivel de pobreza más bajo que cubre una UEM pertenece al centro educativo Réplica Montufar ubicado en la parroquia Quito, cantón Quito, provincia Pichincha con el 34,16%; y el nivel más alto es el de la UEM Chontapunta ubicado en la parroquia Chontapunta, cantón Tena, provincia de Napo, con el 99,61% de pobreza.

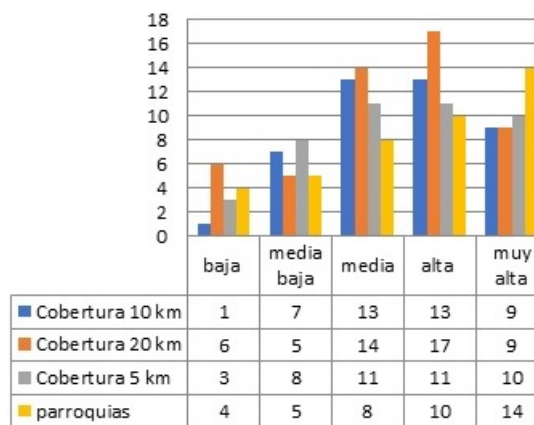


Figura 7. Cantidad de UEM que cubre los rangos de pobreza mayores al 50%.

COBERTURA UEM	Porcentaje INBI de POBREZA 0 %-25 %	Porcentaje INBI de POBREZA 25 %-50 %	Porcentaje INBI de POBREZA 50 %-75 %	Porcentaje INBI de POBREZA 75 %-100 %
Circular de 5 Km	0	10	18	25
Circular de 10 Km	0	10	12	31
Circular de 20 Km	0	2	16	35
Por parroquia	0	12	14	27

Tabla 2. Cantidad de UEM en rangos de pobreza por área de cobertura.

La mediana calculada en este conjunto de datos (Figura 8) corresponde al 76,65 % (color naranja), cuyo valor pertenece a la UEM Paiguara, indicando que 26 unidades educativas están sobre este valor y 26 unidades educativas tienen valores inferiores a la mediana. El gráfico de la distribución de frecuencias de la Figura 9 tiene un sesgo a la derecha, lo que indica que la mediana es mayor al promedio; razón por la cual se puede deducir que la mayor parte de UEM tienden a estar ubicadas en los sectores más pobres del país. En otras palabras, el valor de la media aritmética es del 74,29 % (color verde), que indica que el promedio que cubren las unidades educativas en este estudio está sobre el 50 % de pobreza.

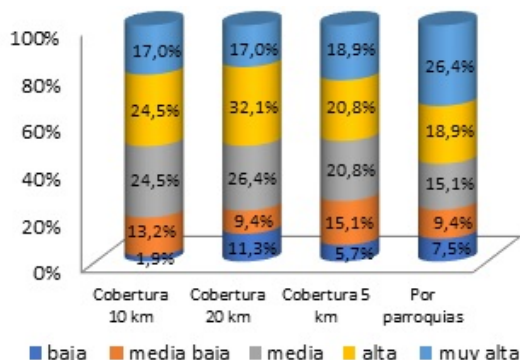


Figura 8. Porcentaje de UEM en quintiles por cobertura de pobreza.

3 Conclusiones

Con los métodos de intersección de polígonos en PostgreSQL-PostGIS y utilizando métodos matemáticos se ha demostrado que el 84 % de las UEM construidas hasta el momento están en zonas donde sus necesidades básicas insatisfechas están por encima del 50 %.

Se ha podido deducir bajo varios puntos de vista de áreas de influencia, como son las circulares con radios variables de 5,10 y 20 km y polígonos irregulares como son las áreas de las parroquias de cada UEM a la que pertenece, que las unidades educativas mencionadas en este estudio están construidas en áreas rurales y satisfacen a la población más necesitada.

En el análisis individual de cada UEM se puede concluir que por encima de la media aritmética de pobreza se encuentran 33 unidades educativas con rangos mayores a 74,29 %, siendo la UEM Chontapunta el establecimiento que se encuentra en una zona donde su índice de NBI es del 99,61 %, ubicada en la provincia de Napo, región amazónica. Y por debajo de la media existen 21 establecimientos, siendo el centro educativo Réplica Montufar ubicado en la parroquia Quito, cantón Quito, provincia Pichincha con el 34,16 % la UEM que cubre el nivel más bajo de pobreza.

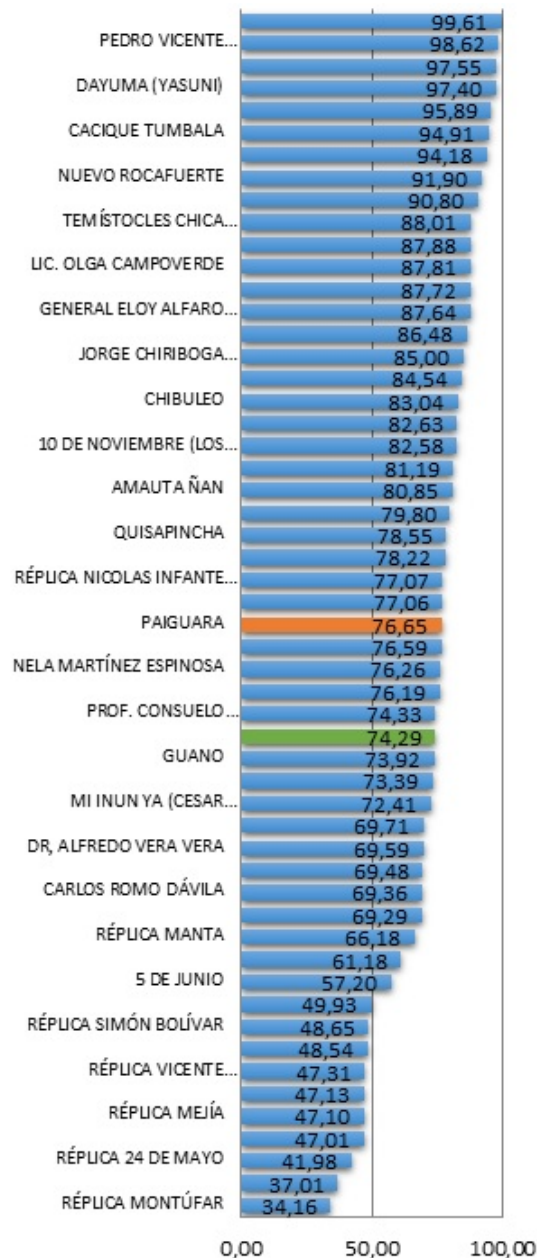


Figura 9. Porcentaje de pobreza que cubre cada UEM.

Referencias

- Ayen López, José A. (2012). *Catastro y nuevas tecnologías*. Inf. téc. Saaerbrucken: Lap Lambert Academic Publishing GmbH & Co.
- Babar, Shahzad (2010). *Accessibility of Web based GIS applications*. Inf. téc. Saaerbrucken: Lap Lambert Academic Publishing AG & Co.

- Bertolotto, Michela y Gavin McArdle (2011). «Data reduction techniques for web and mobile GIS». En: *Advances in Web-based GIS, Mapping Services and Applications* 9, pág. 139.
- Boundless Server (2012). *Introduction Boundless Server*. URL: <http://suite.opengeo.org/docs/latest/intro/index.html>.

- Boundless (2012). *PostGIS*. último acceso: 04 de 09 de 2015. URL: <http://workshops.boundlessgeo.com/postgis-intro/introduction.html>.
- Buzai, Gustavo D. (2011). «Geografía y Sistemas de información geográfica». En: *Revista Geográfica de América Central*, 15-67. Online: <https://bit.ly/2Ni3SN6>.
- Córdoba, Guillermo (2012). *Áreas de influencia, tipos y aplicaciones en geomarketing*. último acceso: 12 de 01 de 2015. URL: <http://www.unica360.com/areas-de-influencia-tipos-y-aplicaciones-en-geomarketing>.
- Damm, Arturo (2013). *Thatcher y el coeficiente de Gini*. Economipedia (2018). *Índice de GINI*.
- Fu, Pinde y Sun Jiulin (2011). «WebGIS Principles and applications». En: Esri Press.
- Groger, Gerhard y George Betsy (2012). «Handbook of Geographic Information». En: ed. por Wolfgang Kresse y David Danko. Springer. Cap. Geommetry and Topology, págs. 303-321.
- Hazzard, Erik (2011). *Openlayers 2.10 beginner's guide*. Packt Publishing Ltd.
- Huang, Haosheng, Yan Li y Georg Gartner (2011). «A load balancing method to support spatial analysis in XML/GML/SVG-based WebGIS». En: *Advances in Web-based GIS, mapping services and applications*, págs. 153-168.
- INEC (2010). *Población: Necesidades básicas insatisfechas total nacional*. Inf. téc. Instituto Nacional de Estadística y Censos. Online: <https://bit.ly/2xTLcuj>.
- (2017). *Reporte de Pobreza y Desigualdad*. Inf. téc. Instituto Nacional de Estadística y Censos. Online: <https://bit.ly/2FnRsRb>.
- Martínez Llario, José Carlos (2013). «PostGIS 2. Análisis espacial avanzado». En:
- Ministerio de Educación (2016). *Visualizador Geográfico*.
- Ministerio de Educación (2016). *Proyecto emergente de Unidades Educativas del Milenio y Establecimientos Réplica*.
- Morales, Aurelio (2012). *Las mejores aplicaciones GIS open source*.
- Navas, Gustavo y Patsy Prieto (2011). «Geoportales en el Ecuador». En: *La Granja*, 58-64. Online: <https://bit.ly/2Zfbzdb>.
- Paz, Inga Karim (2007). «Media Aritmética simple». En: *Boletín Electrónico* 7, 1-13. Online: <https://bit.ly/2KUgojd>.
- Peñafiel Larrea, Freddy, ed. (2014). *Acuerdo Nro. MINEDUC-ME-2014-00034-A*. Ministerio de Educación del Ecuador. Online: <https://bit.ly/2Mrd3LM>.
- Perez, Santiago (2012). *OpenLayers Cookbook*. Packt Publishing Ltd.
- Peter, Hagget (1977). *Análisis Locacional en Geografía Humana*. Ed. gustavo Gili.
- Peters, Dave (2012). *Building a GIS*. Inf. téc. Redlands: Esri Press.
- Secretaría de Educación y Deporte (2015). *Secretaría de Educación y Deporte. Inscripciones Instituciones Municipales*. Secretaría de Educación y Deporte.
- Shklar, Leon y Rosen Rich, eds. (2011). *Web Application Architecture*. Chichester. Online: <https://bit.ly/2ZocEQI>: John Wiley & Son Ltd.
- Unicef Ecuador (2015). *Pobreza y pobreza infantil multidimensional*.
- Universidad del Azuay (2018). *Infraestructura de Datos Espaciales*. UDA.
- Westra, Erik (2013). *Python Geospatial Development*. Packt Publishing Ltd.