

PORTADA

p-ISSN: 1390-6143, e-ISNN: 2477-8893

Tamaño de la página: 21.0 x 29.7 cm

Margen: 2.54 cm a los cuatros lados

Tamaño final: 100% original

Vol. 10 / No. 2 / Diciembre 2019

p-ISSN: 1390-6143

e-ISSN: 2477-8893

Universidad de Cuenca
Dirección de Investigación - DIUC

MASKANA (*búsqueda* en quechua), el nombre de la revista científica de la Dirección de Investigación de la Universidad de Cuenca (DIUC), se refiere directamente a la definición de *investigación*, que en el sentido más amplio se entiende como la búsqueda del avance del conocimiento a través de la recopilación de datos, información y hechos.

MASKANA (*searching* in quechua), the name of the scientific journal of the Research Directorate of the University of Cuenca (DIUC), relies directly to the definition of *research*, which in the broadest sense means *searching* for advancement in knowledge via gathering of data, information and facts.

MASKANA • Volumen 10 • Número 2 • julio-diciembre 2019

Indexada en Latindex Catálogo 2.0

Revista semestral de Ciencias Humanas y Sociales, Biológicas y de la Salud, Exactas y Tecnologías de la Universidad de Cuenca (UC). Publicación internacional, bilingüe, revista electrónica con acceso abierto (<https://www.ucuenca.edu.ec/ojs/index.php/maskana>). En este sitio web se puede descargar la guía para autores (en español o inglés). Las ideas y opiniones expresadas en las colaboraciones son de exclusiva responsabilidad de los autores y autoras.

Consejo Editorial UC

Director:

Mauricio Espinoza (PhD) Dirección de Investigación, UC

Editor:

Edison Timbe (PhD) Dirección de Investigación, UC

Miembros

Jan Feyen (PhD) Facultad de Bioingeniería, Universidad Católica de Lovaina, Bélgica

Hubert B. Van Hoof (PhD) Ciencias de la Hospitalidad, Pennsylvania State University, USA

Ricardo Alberio (PhD) Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional Mar del Plata, Argentina

Priscila Hermida (PhD) Pontificia Universidad Católica, Quito, Ecuador

Adriana Orellana (PhD) Facultad de Ciencias Médicas, UC

Bajo el auspicio de

Pablo Vanegas Peralta (PhD), Rector UC

Catalina León Pesántez (PhD), Vicerrectora UC

Impresión: SelfPrint

Copyright: Los artículos de este volumen se distribuyen bajo Creative Commons Attribution 4.0 License: los autores conservan los derechos de autoría de los artículos y otorgan a la Dirección de Investigación de la Universidad de Cuenca (DIUC) una licencia irrevocable no exclusiva para publicar el artículo electrónicamente y en formato impreso y para identificarse como el editor original.

MASKANA: Directrices para los autores¹

¹ El documento completo de las directrices para los autores está disponible en <https://publicaciones.ucuenca.edu.ec/ojs/index.php/maskana/>

1. Información general

La edición de la revista es semestral. Los artículos deben ser originales y no deben encontrarse bajo evaluación en otras revistas. Los artículos pueden estar escritos en español o en inglés y podrán presentarse por correo (maskana.diuc@ucuenca.edu.ec) en cualquier momento del año. Los manuscritos presentados pasan por un proceso de revisión y los autores son informados sobre la aceptabilidad del artículo para su publicación. Si el artículo es aceptado con menores o mayores revisiones los autores reciben las sugerencias correspondientes sobre cómo mejorar el contenido y la redacción del manuscrito.

2. Estructura del manuscrito

La estructura de manuscritos con datos experimentales debe seguir el siguiente esquema: Título; Lista de autores; Afiliación de los autores; Resumen; Palabras clave; Abstract; Keywords; Introducción; Materiales y métodos; Resultados y discusiones; Conclusiones; Agradecimientos; y, Bibliografía. En caso de tratarse de artículos de reflexión o de revisión de la literatura la estructura se reduce a: Título; Lista de autores; Afiliación de los autores; Resumen; Palabras clave; Abstract; Keywords; Introducción; una o más secciones sobre los aspectos para los que el(los) autor(es) propone(n) la investigación; Conclusiones; Agradecimientos; y, Bibliografía.

3. Instrucciones de escritura

- Los artículos se presentan en formato MS Word.
- Diseño de página: tamaño A4, márgenes de 2.54 cm en todos los lados de la página, páginas numeradas.
- Longitud del manuscrito: máximo 10,000 palabras incluyendo todas las secciones.
- Título: 10 a 12 palabras; escrito como una etiqueta, mas no como una frase.
- Lista de autores y la dirección de afiliación.
- Dirección de correo electrónico del autor para correspondencia.
- Resumen: máximo 250 palabras, escrito como un párrafo.
- Palabras clave: menos de 7 palabras.
- Limite la subdivisión de cada sección del manuscrito en un sólo nivel (1.1., 1.2., 1.3., 2.1, 2.2., etc.).
- Tipo y tamaño de letra: Times New Roman, 11 puntos para el texto y 10 puntos para las notas de pie de página.
- Espaciado entre líneas de texto: 1.5 y sencillos en tablas, apéndices y referencias bibliográficas. Introducir una línea en blanco entre cada sección del artículo, no entre párrafos. Activar en MS Word, la opción de numerado de cada línea en cada página.
- Tablas, figuras, fotografías y mapas: Presente únicamente resultados relevantes, que son necesarios para comprender mejor el texto. En un artículo consta normalmente más texto que ilustraciones.
- Tablas: Las tablas no contienen líneas verticales. Se recomienda el uso del punto como signo separador de los decimales, y el uso de una coma para marcar miles en números.
- Figuras, mapas y fotografías: El texto en ilustraciones debe ser legible, y las ilustraciones de alta calidad. La resolución mínima de ilustraciones es 300 dpi, y el formato preferible es JPEG o TIFF.
- Modo de citar autores en el texto: Goffman (1987); Iannconne & Alvarño (2005); Baroody *et al.* (2012); (Aunio & Niemivirta, 2010; De Smedt *et al.*, 2009; Duncan *et al.*, 2007; Geary, 2011).
- Bibliografía:
 - Artículos:* Robinson, G. L., & Miles, J. (1987). The use of colored overlays to improve visual processing: A preliminary survey. *The Exceptional Child*, 34(1), 65-70.
 - Libros:* Montgomery, D. C., Johnson, L. A., & Gardiner, J. S. (1990). *Forecasting and time series analysis* (2ª ed.). New York, NY: McGraw-Hill Publ. Comp., 367 pp.
 - Capítulos de libros:* Geo-JaJa, M. A., & Azaiki, S. (2010). Development and education challenges in the Niger Delta. In: Hui Xu, Lou, S., & Xiu Lan Wan (Eds.). *Studies in African Education*. Hangzhou: Zhejiang University Press, pp. 210-228.
 - Ponencias en congresos:* Hangartner, M., Burri, P., & Monn, C. (1989). *Passive sampling of nitrogen dioxide, sulphur dioxide, ozone ambient air*. In: Brasser, L. J. (Ed.), *Proceedings of the 8th World Clean Air Congress Man and His Ecosystem*, The Hague, The Netherlands, pp. 681-686.
 - Fuentes de Internet:* W3C, 2009. *Public-rdf-in-xhtml-tf*. Descargado de <http://lists.w3.org/Archives/Public/public-rdf-in-xhtml-tf/2009Aug/thread.html> el 26 de octubre de 2014.

Contenidos

Vol. 10, No. 2, diciembre 2019

Nota Editorial / Editorial Note

- Maskana's contribution to improve via open access UC's and Ecuador's research visibility / El aporte de Maskana para mejorar la visibilidad de la investigación de la UC y del Ecuador, a través del sistema de acceso abierto 1-4
Jan Feyen

Artículos Científicos / Original Research Papers

- WAKE-UP CALL for Ecuador's universities 5-14
Jan Feyen
- Experiences in the application of the Flipped Learning model in a Music Technology course 15-20
José Urgilés, Galo Carrión, Verónica Pinos-Vélez, Victoria Abril-Ulloa, Karina Quinde
- The (mis)match between sexuality education programs in school and the expectations of Ecuadorian adolescents 21-31
Jessica Castillo Núñez, Ilse Derlyun, Martin Valcke
- Bullying y cyberbullying escolar en niños y jóvenes adolescentes: un estudio de caso 32-41
Miriam Ordóñez, Katerine Prado
- Evaluación espaciotemporal del cambio global en el Departamento Sur de Haití, de 1973 al 2017 42-53
Marco Martínez, Christian Birkel, Édgar Espinoza, Melvin Lizano, Edes Phillipe, Laura Benegas
- Modelado hidrológico de un páramo andino venezolano con afloramientos rocosos usando TOPMODEL 54-63
Marilena Yeguez, Magdiel Ablan, Wouter Buytaert, Dimas Acevedo, Maynín Rodríguez, Daniel Machado
- Respuesta de semillas de tres especies nativas altoandinas a diferentes condiciones de almacenamiento 64-75
Claudia Patiño, Janeth Jiménez, Franklin Marín, Ximena Palomeque
- Evaluación de la calidad del agua de los ríos de la ciudad de Cuenca, Ecuador 76-88
Guillermina Pauta, María Velasco, Daniela Gutiérrez, Gabriela Vázquez, Santiago Rivera, Óscar Morales, Andrea Abril

Notas Técnicas / Technical Notes

- English proficiency and learner individual differences: A study of pre-service EFL student-teachers 89-92
Mónica Abad, Juanita Argudo, Tammy Fajardo-Dack, Homero Cabrera



Editorial Note / Nota Editorial

Maskana's contribution to improve via open access UC's and Ecuador's research visibility

El aporte de Maskana para mejorar la visibilidad de la investigación de la UC y del Ecuador, a través del sistema de acceso abierto

Jan Feyen 

Professor Emeritus, Catholic University of Leuven, Belgium.

Corresponding author: jan.feyen@kuleuven.be

For many generations scientists publish research results for the evident reason that by doing so they offer directly or indirectly solutions for the rapidly increasing challenges humanity face. What would the world and our life look like without science! Of course, scientists alone won't be able to turn research findings into effective, efficient and cost-effective solutions; it requires the cooperation between different actors of the society. The role of the politicians in this is crucial, because through smart policies and measures, they are able to (i) stimulate and intensify research endeavours, and (ii) develop strategies that ensure that research findings are converted into solutions. This implies that the academic community publishes their results and that society takes notice of the inventions. The best way to do this is by publishing findings in an easy and accessible way for the society as a whole, in other words, by publishing research articles in open access journals, rather than in journals behind a paywall. Paywalls are withholding a substantial amount of research results from a large fraction of the scientific community and the society, and as such from its final application. It hinders dramatically the scientific community and the society of the developing and economic emerging countries to get access to the research findings and solutions of the developed countries; hindering the progress of those countries. Monetising the access to new and existing research is according to Merton (1973) in contradiction with the ethos of science. Open data has the potential to generate new ideas and spark new collaborations between researchers, policymakers, and the society but according to this author they only become open data when they are reused.

The concept of open access journals is rather new. In the northern hemisphere the interest of the scientific community to publish in open access journals is low, and the main reason is that the ranking of institutions and individual researchers is primarily based on the number of publications in what is called "high-impact journals"; which are deemed to be more important than those with lower ones. Usually, getting an article published in a high-impact journal is costly for the authors or for researchers interested in accessing an article in such a journal, which is accompanied by the payment of a fee. These journals are marketed according to an academic publishing business model that involves charging fees to the authors, the readers or both. In the US and Europe is the academic publishing according to the business model controlled by

Durante muchas generaciones, los científicos publican los resultados de sus investigaciones por la evidente razón de que, al hacerlo, ofrecen directa o indirectamente soluciones para los desafíos cada vez mayores que enfrenta la humanidad. ¿Cómo sería el mundo y nuestra vida sin la ciencia! Por supuesto, los científicos por sí solos no podrían convertir los resultados de investigación en soluciones efectivas, eficientes y rentables; se requiere la cooperación entre los diferentes actores de la sociedad. El papel de los políticos en esto es crucial, porque a través de políticas y medidas inteligentes, es posible (i) estimular e intensificar los esfuerzos de investigación, y (ii) desarrollar estrategias que garanticen que los resultados de investigación se conviertan en soluciones. Esto implica que la comunidad académica publica sus resultados y que la sociedad toma nota de los inventos. La mejor manera de hacerlo es publicando los hallazgos de una manera fácil y accesible para la sociedad en general, en otras palabras, publicando artículos de investigación en revistas de acceso abierto, en lugar de hacerlo en revistas de pago. El sistema de revistas cuyo acceso está condicionado a pago restringe, a una gran fracción de la comunidad científica y de la sociedad, el acceso a una cantidad sustancial de resultados de investigación y, como tal, de su aplicación final. Esto impide de forma significativa que la comunidad científica y la sociedad de los países cuyas economías se encuentran en desarrollo, tengan acceso a los resultados de la investigación y las soluciones de los países desarrollados, obstaculizando su progreso. Según Merton (1973), monetizar el acceso a la investigación está en contradicción con el espíritu de la ciencia. La información abierta tiene el potencial de generar nuevas ideas y generar nuevas colaboraciones entre investigadores, políticos y la sociedad; según este autor, la información solamente puede considerarse abierta cuando ésta se reutiliza.

El concepto de revistas de acceso abierto es bastante nuevo. En el hemisferio norte, el interés de la comunidad científica por publicar en revistas de acceso abierto es bajo, y la razón principal es que la clasificación de las instituciones y los investigadores individuales se basa principalmente en el número de publicaciones en lo que se denomina "revistas de alto impacto"; que se consideran per se más importantes que aquellas con un impacto menor. Por lo general, publicar un artículo en una revista de alto impacto es costoso para los autores o investigadores interesados en acceder a un artículo en dicha revista. Estas revistas se distribuyen de acuerdo con



only 5 companies: Reed-Elsevier, Taylor & Francis, Wiley-Blackwell, Springer and Sage. Those companies control worldwide more than half of the academic publishing, and their philosophy is commercialisation of scientific innovations funded by public or private grants. Gradually, the scientific community in this part of the world realises that the business model has become unsustainable, which in 2003 resulted to the Berlin Declaration manifestation of the scientific community to regain ownership of the rules governing the publication of scientific information. It is only in 2013 that Science Europe stand up and established the principles for the transition to Open Access. However, the implementation of Open Access is slow, and in order to accelerate the move to Open Access journals, the EU Ministers of science and innovation assembled in 2016 and decided that all European scholarly publications should be immediately accessible by 2021, via Plan S, an Open Access Platform. Plan S is supported by cOAlition S, an international consortium of research funders, coordinated by Science Europe (<https://www.scienceurope.org>).

As stated by Aguado-López & Becerril-García (2019) was the Latin American initiative to develop a cooperative, non-commercial, academic led, system of scholarly communication ahead of Plan S of cOAlition S. From 2000 onwards created and maintained Latin America a distinct non-commercial Open Access infrastructure, where scientific publications belong to academic institutions. The main reason of the early evolution to open access is the lack of financial resources not allowing academic institutions and researchers to access the science information published in the high-impact journals of the Global North. The non-commercial bibliographic and open access platforms, such as Redalyc, Scielo, Latindex, CLACO and La Referencia, supported by numerous higher education institutions, are a clear example of Latin America's initiative to distance from the publication business model of the northern hemisphere. Although being ahead of the evolution in Europe, the current situation in Latin America related to the principles and means to achieve Open Access get fragmented. To prevent that for-profit companies take over the publication of scientific information Latin America launched in 2018 AmeliCA, analogue to Plan S of cOAlition S. AmeliCA is a cooperative infrastructure for scientific communication controlled by an inter-institutional academy, led by Redalyc and CLACSO, with support from UNESCO. The initiative is based on the over 16 years of experience of open access by Redalyc, running an online collection of 650,000 articles from 1,300 journals published by 620 academic institutions from 22 countries. So far, 24 institutions from 7 countries participated in the launching of AmeliCA. The initiative was taken in response to the challenges faced by the countries in Latin America and the Global South to deliver open access. In addition, to making science open access, AmeliCA aims to generate bibliometric indicators about the impact of the Latin American journals, authors and countries as measure of the scientific and editorial quality of knowledge in this region.

In line with the overall philosophy to make research findings accessible to the society, took the Research Office of the University of Cuenca in 2010 the initiative of starting a research journal, named Maskana, in which academics and researchers from inside and outside the

un modelo comercial de publicación académica que implica cobrar tarifas a los autores, los lectores o ambos. En los Estados Unidos y en Europa la publicación académica consiste en un modelo de negocio controlado por solo 5 empresas: Reed-Elsevier, Taylor & Francis, Wiley-Blackwell, Springer y Sage. Esas compañías controlan en todo el mundo más de la mitad de las publicaciones académicas, y su filosofía es la comercialización de innovaciones científicas financiadas por subvenciones públicas o privadas. Poco a poco, la comunidad científica en esta parte del mundo se da cuenta de que este modelo de negocio se ha vuelto insostenible; ya en el año 2003 la comunidad científica se manifestó a través de la Declaración de Berlín con el propósito de recuperar la propiedad de las normas que rigen la publicación de información científica. No fue sino hasta el año 2013 en el que la asociación Science Europe se puso de pie y estableció los principios para la transición hacia un sistema de tipo Acceso Abierto. Sin embargo, la implementación del acceso abierto es lenta, y para acelerar el paso a las revistas de acceso abierto, los ministros de ciencia e innovación de la UE se reunieron en 2016 y decidieron que todas las publicaciones académicas europeas deberían ser accesibles de inmediato para 2021, a través del Plan S, una Plataforma de acceso abierto. Plan S cuenta con el apoyo de cOAlition S, un consorcio internacional de financiadores de investigación, coordinado por Science Europe (<https://www.scienceurope.org>).

Según Aguado-López y Becerril-García (2019), la iniciativa latinoamericana para desarrollar un sistema cooperativo, no comercial, de comunicación académica y dirigido académicamente, fue un adelanto al Plan S de cOAlition S. A partir del año 2000 América Latina creó y mantuvo una infraestructura de acceso abierto no comercial, donde las publicaciones científicas pertenecen a instituciones académicas. La razón principal de esta evolución temprana hacia el sistema de Acceso Abierto fue, y es, la falta de recursos financieros que no permiten que las instituciones académicas y los investigadores accedan a la información científica publicada en las revistas de alto impacto del Norte Global. Las plataformas de Acceso Abierto y bibliográficas no comerciales, como Redalyc, Scielo, Latindex, CLACO y La Referencia, respaldadas por numerosas instituciones de educación superior, son un claro ejemplo de la iniciativa de América Latina de distanciarse del modelo comercial de publicaciones del hemisferio norte. Aunque está por delante de la evolución en Europa, la situación actual en América Latina relacionada con los principios y los medios para lograr el Acceso Abierto se fragmenta. Para evitar que empresas con fines de lucro se hagan cargo de la publicación de información científica, América Latina lanzó en 2018 AmeliCA, análogo al Plan S de cOAlition S. AmeliCA es una infraestructura cooperativa para la comunicación científica controlada por una academia interinstitucional, dirigida por Redalyc y CLACSO, con el apoyo de la UNESCO. La iniciativa se basa en la experiencia de más de 16 años de acceso abierto de Redalyc, con una colección en línea de 650,000 artículos de 1,300 revistas publicadas por 620 instituciones académicas de 22 países. Hasta el momento, 24 instituciones de 7 países participaron en el lanzamiento de AmeliCA. La iniciativa se tomó en respuesta a los desafíos que enfrentan los países de América Latina y el Sur Global

institute could publish, after review, research results. Whereas in the beginning, the journal was distributed in printed format, soon the journal made the transition to open access in line with the Budapest Open Access Initiative (2002), applying the Open Journal Systems (OJS) management and publishing system. In this way, became the research output, generated by public and private funding, directly accessible to the society. So far, published the journal 10 volumes, with 2 numbers per volume, and a grand total of 170 articles (1/3rd published in English and 2/3rd in Spanish). By gradually improving the internal and external review process, the journal was able to meet the minimum requirements for indexation in Latindex (catálogo 2), REDIB and DOAJ, community-curated online directories that indexes and provides open access to peer-reviewed journals. The sustainability of the journal Maskana, a multidisciplinary journal, is quasi independent from funding (review and administrative costs are low), the submission process is fully online, as well as the review process which is conform to international standards. The survival of the now mature research journal mainly depends on the regular submission of a enough quality articles. The journal is continuously working on improving its quality as to enhance the citation frequency of articles, for which the authors of the articles and the journal will get credit. Additionally, authors should be aware that publishing research articles for open access, rather than behind a paywall, increases citations.

To support the citation frequency from below and to provide the generation of master and doctoral students during their education the opportunity to gain expertise in writing and publishing an article, Maskana opens the door for the submission of respectively research and technical notes (Electronic Journal of Biotechnology, n.d.; Elsevier, n.d.; Ng & Peh, 2010). Both are not full academic papers, and research notes are merely a discussion note, seeking to advance a new idea, theoretical perspective, research program, or methodological approach; while a technical note focuses on a description of a specific development, technique or procedure, or even the description of a modification of an existing technique, procedure or an applicable device. They are normally shorter than a full research paper, but even though notes ought to provide a clear outline on what kind of contribution the note will make to the field. It is evident that upon submission notes will be subject to review, and depending on the outcome, notes are eligible for publication, subject to minor or major revision, or rejected. This initiative of Maskana will offer the new generation of researchers the opportunity to familiarize step by step in academic reading and writing, and will in parallel uplift the citation frequency of the journal, and as such the research visibility of the university.

Research is more than ever before essential to keep pace with the increasing complexity of society. With regard to this, it is Maskana's objective to offer to the academic community of the University of Cuenca and the world, a suitable and open access platform enabling them to share in an easy and economic way findings with the scientific community and the society. The latter will benefit by turning the found solutions in efficient and cost-effective policies, management strategies and applications.

para ofrecer Acceso Abierto. Además, para hacer que la ciencia sea de Acceso Abierto, AmeliCA tiene como objetivo generar indicadores bibliométricos sobre el impacto de las revistas, autores y países latinoamericanos como medida de la calidad científica y editorial del conocimiento en esta región.

En línea con la filosofía general de hacer accesibles los hallazgos de la investigación a la sociedad, la Dirección de Investigación de la Universidad de Cuenca, en 2010, tomó la iniciativa de comenzar una revista de investigación llamada MASKANA, en la que académicos e investigadores de dentro y fuera de la institución puedan publicar, después de revisión externa, resultados de investigación. Durante sus primeros años, la revista se distribuyó en formato impreso, pero pronto, de acuerdo con la Iniciativa de Acceso Abierto de Budapest (2002), hizo la transición al Acceso Abierto mediante la aplicación del sistema de gestión y publicación Open Journal Systems (OJS). De esta forma, los resultados de investigación, generada por fondos públicos y privados, son directamente accesibles por la sociedad. Hasta el momento MASKANA ha publicado 10 volúmenes, con 2 números por volumen, y un total de 170 artículos (1/3 publicado en inglés y 2/3 en español). Al mejorar gradualmente el proceso de revisión interna y externa, la revista pudo cumplir con los requisitos mínimos de indexación en Latindex (catálogo 2), REDIB y DOAJ, directorios en línea gestionados comunitariamente, que indexan y proveen Acceso Abierto a revistas revisadas por pares. La sostenibilidad de la revista MASKANA, una revista multidisciplinaria, es casi independiente de la financiación (los costos administrativos y de revisión son bajos), el proceso de envío está completamente en línea, así como el proceso de revisión que cumple con los estándares internacionales. La supervivencia de esta madura revista de investigación depende principalmente de la presentación regular de un número suficiente de artículos de calidad. La revista trabaja continuamente en mejorar su calidad para así mejorar la frecuencia de citas de sus artículos, por lo cual los autores de los artículos y la revista en su conjunto obtendrán crédito. Además, los autores deben ser conscientes de hay mucha más posibilidad de que sus artículos sean citados si éstos son publicados en una revista de Acceso Abierto, en lugar de hacerlo en una revista de pago.

Con el objetivo de apoyar a estudiantes de maestría y doctorado, durante su educación, mediante una experiencia en la redacción y publicación de un artículo científico, a partir de la presente edición Maskana abre la puerta para la presentación de notas técnicas y notas de investigación (Electronic Journal of Biotechnology, nd; Elsevier, nd; Ng y Peh, 2010). Ninguno de las dos son artículos académicos completos. Las notas de investigación son simplemente notas de discusión, que buscan avanzar hacia una nueva idea, perspectiva teórica, programa de investigación o enfoque metodológico; mientras que una nota técnica se enfoca en la descripción de un desarrollo, técnica o procedimiento específico, o incluso la descripción de una modificación de una técnica, procedimiento o dispositivo, existente. Las notas son normalmente son más cortas que un trabajo de investigación completo, pero a pesar esto, deberían proporcionar un bosquejo claro sobre qué tipo de contribución hace la nota en su campo de estudio específico. Es evidente que las notas estarán sujetas a revisión y, dependiendo del resultado, serán elegibles para

REFERENCES

Aguado-López, E., Becerril-García, A. (2019). AmeliCA before Plan S – The Latin American Initiative to develop a cooperative, non-commercial, academic led, system of scholarly communication. [Blog entry]. LSE Impact Blog.

Electronic Journal of Biotechnology (n.d.).
http://ejbiotechnology.ucv.cl/iaformato/technical_notes.html

ELSEVIER (n.d.).
https://www.elsevier.com/__data/promis_misc/scaman_research_notes_and_book_reviews.pdf

Merton, R. K. (Ed.). (1973). The normative structure of science. In: *The Sociology of Science: Theoretical and Empirical Investigations*. Chicago (n.d.), IL: University of Chicago Press.

Ng, K. H., & Peh, W. C. G. (2010). Effective medical writing: Writing a technical note. *Singapore Medical Journal*, 51(2), 101-103.

su publicación, sujetas a revisión menor o mayor, o rechazadas. Esta iniciativa de Maskana ofrecerá a la nueva generación de investigadores la oportunidad de familiarizarse paso a paso en lectura y escritura académica, y en paralelo elevará la frecuencia de citas de la revista y, como tal, la visibilidad de la investigación de la universidad.

La investigación es más esencial que nunca para mantener el ritmo de la creciente complejidad de la sociedad. En esta línea, el objetivo de Maskana es ofrecer a la comunidad académica de la Universidad de Cuenca y del mundo, una plataforma adecuada y de acceso abierto que permita compartir, de manera fácil y económica, resultados de investigación con la comunidad científica y la sociedad. El beneficio de esto será convertir las soluciones encontradas dichas investigaciones, en políticas, estrategias de gestión y aplicaciones eficientes y rentables.

REFERENCIAS

Aguado-López, E., Becerril-García, A. (2019). AmeliCA before Plan S – The Latin American Initiative to develop a cooperative, non-commercial, academic led, system of scholarly communication. [Blog entry]. LSE Impact Blog.

Electronic Journal of Biotechnology (n.d.).
http://ejbiotechnology.ucv.cl/iaformato/technical_notes.html

ELSEVIER (n.d.).
https://www.elsevier.com/__data/promis_misc/scaman_research_notes_and_book_reviews.pdf

Merton, R. K. (Ed.). (1973). The normative structure of science. In: *The Sociology of Science: Theoretical and Empirical Investigations*. Chicago (n.d.), IL: University of Chicago Press.

Ng, K. H., & Peh, W. C. G. (2010). Effective medical writing: Writing a technical note. *Singapore Medical Journal*, 51(2), 101-103.



Research paper / Artículo científico

WAKE-UP CALL for Ecuador's universities

Una LLAMADA DE ATENCIÓN para las universidades ecuatorianas

Jan Feyen 

Professor Emeritus, Catholic University of Leuven, Belgium.

Corresponding author: jan.feyen@kuleuven.be

Fecha de recepción: 10 de noviembre de 2019 - Fecha de aceptación: 29 de noviembre de 2019

ABSTRACT

The definition of wake-up call is something that alerts people to an unsatisfactory situation and drives them to remedy it. In this sense, today's publication of QS World University Rankings 2020 can be seen as a wake-up call for Ecuador's universities, SENESCYT, CACES and CES. First, the article assesses the performance of Ecuador's universities using the QS World University Rankings 2020 method. The analysis reveals that the group of Ecuadorian universities with better performance is extremely small and, in addition, most of the institutions included in the 2020 QS ranking saw their ranking declined with respect to their ranking in 2019. Parallel to the QS ranking, the publication record in SCOPUS journals of 11 better ranked Ecuadorian universities was analyzed for the period 2009-2019. The average annual number of published papers increased drastically in this period from 22.2 to 192 (873%), although the surveyed institutions saw their annual publication record raising, some of them were not able to maintain their position. The second section of the manuscript highlights what the Ecuadorian universities ought to do to improve their performance and their contribution to the progress of society. According to the author, universities must urgently invest in quality, take advantage of the potential of modern learning methods, make research a mature and equivalent component, stimulate cross-border collaboration at all levels and convert the spin-off into hubs of innovation. Doing so requires not only a changing attitude of the authorities, but of the entire academic community of professors and researchers, administrative and technical personnel, but most importantly of the government administrations in charge of higher education. To convert public HEIs into institutions that are capable of offering graduates who possess the knowledge and skills necessary to face the challenges of today and tomorrow while ensuring sustainable economic growth in harmony with the environment, universities must be reengineered in a straightforward way. The institutional pillars subject for renewal are described in the third section of this article. To convert the reengineering of the university into a feasible project, it is essential that the ones that make the decisions open their mind and realize that universities in the 21st century require a completely different governance. Additionally, the noses of all personnel should be turned in the same direction, personnel cooperate intensely, and corruption, collusion and nepotism are eliminated.

Keywords: University ranking, 21st century challenges, reengineering of HEIs, shared governance, multidisciplinary nature of problems, inter-faculty and inter-university cooperation.

RESUMEN

Una llamada de atención es una alerta sobre una situación insatisfactoria que impulsa a las personas a remediarla. En este sentido, la reciente publicación del QS World University Rankings 2020 puede verse como una llamada de atención para las universidades de Ecuador, SENESCYT, CACES y CES. En primer lugar, el presente trabajo evalúa el desempeño de las universidades ecuatorianas utilizando el método QS World University Rankings 2020. El análisis revela que el grupo de universidades ecuatorianas con mejor desempeño es extremadamente pequeño y, además, la mayoría de las instituciones incluidas en el ranking vieron bajar su posición con respecto al año 2019. Para el período 2009-2019 también se analizó el registro de publicaciones en SCOPUS de las 11 universidades ecuatorianas mejor calificadas. En dicho período el número promedio anual de artículos publicados aumentó drásticamente, de 22.2 a 192 (873%); sin embargo, algunas instituciones perdieron posiciones en el ranking a pesar de un aumento en su registro anual de publicaciones. La segunda sección del manuscrito describe lo que las universidades ecuatorianas deberían hacer para mejorar su desempeño y contribución al progreso de la sociedad. Según el autor, las universidades deben invertir urgentemente en calidad, aprovechar el potencial de los métodos de aprendizaje modernos, hacer de la investigación un componente maduro y de vinculación con la sociedad, estimular la colaboración inter e intrainstitucional en todos los niveles y convertir la escisión (spin-off) en centros de innovación. Hacerlo requiere no solo un cambio de actitud de toda la comunidad académica -autoridades, profesores, investigadores, personal administrativo y técnico-, sino también, y más importante, de las instancias gubernamentales a cargo de la educación superior. Las IES públicas deben ser rediseñadas de manera directa para convertirlas en instituciones capaces de ofrecer a los graduados los conocimientos y las habilidades necesarias para enfrentar los desafíos presentes y futuros, a la vez que garanticen un crecimiento económico sostenible y en armonía con el medio ambiente. La tercera sección de este



artículo describe los pilares institucionales que requieren renovación. Para que la reingeniería de la universidad sea un proyecto factible, es esencial que los tomadores de decisiones abran sus mentes y se den cuenta de que las universidades en el siglo XXI requieren cambios sustanciales de gobernanza. Además, las narices de todo el personal deben girar hacia la misma dirección, lo cual significa una intensa cooperación, en la que cualquier rastro de corrupción, colusión o nepotismo, sea eliminado.

Palabras clave: ranking universitario, desafíos del siglo XXI, reingeniería de IES, gobernanza compartida, naturaleza multidisciplinaria de los problemas, cooperación entre facultades y universidades.

1. UNIVERSITY RANKINGS

A multitude of classification systems exists, each of these systems uses a specific set of indicators, as for example the QS World University Rankings®, The Times Higher Education University Ranking, SCImago University Ranking, Webometric Ranking, etc. University classification systems often show very variable results, and the question is which one should we trust? Classification systems, therefore, must be used with care, and one ought to be aware of the indicators used in the classification system. However, classification helps identify the position of a given institution at regional, national and international level, and the specific areas in which the institution is weak compared to institutions with a better ranking. Knowing the weak areas, the institution can take the most appropriate measures to improve the institution's performance in education, research, innovation, dissemination, social impact, etc. As example, the ranking of Ecuador's universities according to the QS World University Rankings® 2020 and the institution's ranking based on the record of publications in journals registered in SCOPUS is discussed in the following.

The QS World University Rankings® 2020 system evaluates and classifies a university on the following criteria: academic reputation (30%), employer reputation (20%), academic/student ratio (10%), scientific citations by publication (10%), scientific publications by academics (10%), academic staff with doctorate or PhD (5%), international research network (10%), and WEB impact (5%)

(5%). The total score for an institution is the sum of the score on the 8 indicators, accounting the percentage weight of the metrics. The results of the world ranking 2020 for 1000 universities is available on the website <https://www.topuniversities.com/university-rankings/world-university-rankings/2020>, and from this website, the report *QS_World_University_Rankings_2020_report* (pdf) can be downloaded. Only 4 Ecuadorian universities are among the 1000 best institutions on the planet; respectively, the Universidad San Francisco de Quito (rank: 751-800), the Escuela Politécnica Nacional, the Escuela Superior Politécnica del Litoral and the Pontificia Universidad Católica del Ecuador (rank: 801-1000). The other Ecuadorian universities are further down the ranking, and only 17 public and private universities, of a total of 30 public and 49 private institutions are classified. More information on the ranking of the Ecuadorian universities is available in the publication *QS_Latin America_Rankings-2020_report*. This report gives the ranking of the best 200 universities in Latin America. Only the 150 best universities receive an individual classification; those below the 150th rank are classified in bands of 50. According to this report, 11 Ecuadorian universities (USFQ, ESPOL, PUCE, EPN, UCE, UC, ESPE, UTPL, UEES, UDLA, and UCSG) are among the 200 best HEIs in Latin America (see Table 1); and a total of 17 institutions are among the 400 best HEIs (the 11 institutions mentioned before plus the Universidad de Guayaquil (UG) and the Universidad Politécnica Salesiana (UPS): rank 301-350; the Universidad de Azuay (UDA) and Universidad Tecnológica Equinoccial (UTE):

Table 1. World University Rankings® Latin America 2020: 11 Ecuadorian universities classify among the 200 top universities in Latin America, and 17 universities belong to the top 400.

2020 Rank	2019 Rank	Institution	Academic reputation (30%)	Employers reputation (20%)	Ratio Academics / Alumni (10%)	Scientific publications per academician (10%)	Scientific citations per publication (10%)	Fraction of academics with doctorate or PhD (5%)	International research network (10%)	WEB impact (5%)	Total score
Ranking of 11 Ecuadorian HEIs following the publication: The top 200 universities in Latin America 2020											
55	51	Universidad de San Francisco de Quito	44.4	67.6	57.4	24.2	72.0	32.1	52.0	50.8	54.9
64	64	Escuela Superior Politécnica del Litoral - ESPOL	40.2	63.2	49.7	22.3	36.4	30.6	77.1	76.7	51.8
75	70	Pontificia Universidad Católica del Ecuador	38.7	58.6	53.7	8.2	82.3	6.1	57.2	46.7	48.6
98	126	Escuela Politécnica Nacional	28.6	39.1	55.6	31.5	58.4	32.3	60.1	56.5	43.8
139	138	Universidad Central del Ecuador	33.7	46.0	40.0	4.9	37.5	1.4	35.5	30.5	34.4
161-170	151-160	Universidad de Cuenca	21.8	-	-	20.2	96.2	-	64.3	31.8	30.6-32.1
171-180	149	Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE	-	46.2	31.8	19.7	-	-	41.8	48.0	28.9-30.4
171-180	191-200	Universidad Tecnica Particular de Loja - UTPL	23.2	22.8	-	27.9	43.7	-Un	55.6	48.8	28.9-30.4
191-200	201-250	Universidad de Especialidades Espiritu Santo	-	30.8	28.4	23.8	37.5	54.6	-	-	26.3-27.1
201-250	201-250	Universidad de Las Américas (UDLA)	23.5	34.7	-	-	-	-	19.9	-	19.8-26.1
251-300	201-250	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil	-	39.7	-	-	-	-	-	-	15.6-19.6
Ranking of 6 additional Ecuadorian HEIs following the website: https://www.topuniversities.com/universities/country/ecuador											
301-350	-	Universidad de Guayaquil	-	-	-	-	-	-	-	-	-
301-350	-	Universidad Politécnica Salesiana	-	-	-	-	-	-	-	-	-
351-400	-	Universidad de Azuay	-	-	-	-	-	-	-	-	-
351-400	-	Universidad Tecnológica Equinoccial	-	-	-	-	-	-	-	-	-
?	-	Universidad Andina Simón Bolívar	-	-	-	-	-	-	-	-	-
?	-	Cambridge School of Language	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Table 2. The annual ranking of 11 Ecuadorian universities (EPN, ESPE, ESPOL, PUCE, UC, UCE, UDLA, UG, UPS, USFQ, UTPL) for the period 2010-2019 on the basis of the number of scientific articles published in a journal registered in SCOPUS journal database. The last column shows the ranking of the 11 universities on the basis of the institution's total article record in SCOPUS journal database.

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	Total
1	PUCE	USFQ	USFQ	USFQ	USFQ	ESPE	ESPE	ESPE	EPN	EPN		USFQ
2	USFQ	PUCE	PUCE	PUCE	UTPL	UTPL	UTPL	USFQ	USFQ	USFQ		EPN
3	UTPL	ESPOL	UTPL	UTPL	ESPOL	EPN	ESPOL	ESPOL	ESPOL	ESPOL		ESPOL
4	EPN	EPN	EPN	EPN	PUCE	USFQ	EPN	EPN	ESPE	ESPE		ESPE
5	ESPOL	UCE	ESPOL	ESPOL	UC	ESPOL	USFQ	UTPL	UTPL	PUCE		PUCE
6	UC	UTPL	UCE	UCE	EPN	UC	UPS	PUCE	PUCE	UPS		UTPL
7	UCE	UC	ESPE	ESPE	ESPE	UPS	UC	UPS	UPS	UTPL		UC
8	ESPE	ESPE	UC	UC	UCE	PUCE	PUCE	UC	UG	UDLA		UPS
9	UDLA	UG	UPS	UPS	UPS	UCE	UCE	UG	UC	UC		UCE
10	UG	UDLA	UG	UG	UDLA	UDLA	UDLA	UDLA	UDLA	UG		UG
11	UPS	UPS	UDLA	UDLA	UG	UG	UG	UCE	UCE	UCE		UDLA
Σ	244	269	354	401	625	1 055	1 676	2 383	3 071	2 112		13 820
Min	1	2	6	8	8	27	46	116	148	126		587
Max	64	81	107	88	92	150	246	394	444	304		2 176
\bar{X}	22,2	24,5	32,2	36,5	56,8	95,9	152,4	216,6	279,2	192,0		1 256,4
STD	20,8	24,0	29,4	26,8	26,8	38,4	69,1	91,9	98,2	63,7		502,2

Legend: Σ = the sum of all registered publications in a year by the 11 universities; Min = the lowest number of registered publications by one of the 11 universities; Max = the highest number of registered publication by one of the 11 universities; \bar{X} the mean number of registered publication by the 11 universities; STD = the standard deviation of the score of the 11 universities.

rank 35-400; and -without rank- the Universidad Andina Simon Bolívar (UASB) and the Cambridge School of Language (<https://www.topuniversities.com/universities/country/ecuador>).

The overall score of the 11 Ecuadorian universities classified in the top 200 Latin American universities varies from 54.9 (USFQ) to 15.6-19.6 (UCSG). From UC downward, the universities do not receive a unique total score since by lack of institutional data not all indicators could be calculated for those universities. Under those conditions, the QS system classifies the universities in an approximate range. An additional observation of the 2020 ranking compared to 2019 is that 70% of the universities in Latin America dropped in ranking. Among the 11 surveyed institutions in Ecuador, EPN, UTPL, and UEEES improved in 2020 their ranking with respect to their 2019 ranking (EPN and UTPL considerably), ESPOL and UDLA maintained their position, while USFQ, PUCE, UCE, UC, ESPE and UCSG dropped in ranking.

In most classification systems, the scientific capacity of a university is measured based on the number of articles published in impact journals, for which the general rule is articles published in journals registered in ISI Web of Science (WoS) and SCOPUS. In the following example, 11 Ecuadorian universities were classified based on their annual publication record in journals registered in SCOPUS in the period 2009-2019. SCOPUS has one of the largest journal databases, covering 36,377 titles (22,794 active titles and 13,583 inactive titles) of approximately 11,678 editors, of which 34,346 are peer-reviewed journals in high-level thematic areas, such as life sciences, social sciences, physical sciences, and health sciences.

Table 2 presents the annual ranking of the 11 selected Ecuadorian universities (EPN, ESPE, ESPOL, PUCE, UC, UCE, UDLA, UG, UPS, USFQ, UTPL) on the number of articles published in journals registered in SCOPUS. The

lower part of the table shows the sum of the annual number of publications of the 11 universities, the minimum and maximum number of records at university level, the average score of the 11 universities and the standard deviation. The last column offers the classification of the 11 universities according to the total number of articles published in a journal registered in SCOPUS, from the first published article to the present. Table 2 depicts the change in the position of the 11 universities based on the institution's record in SCOPUS registered journals. UPS for example improved its position from the 11th (in 2009) to the 6th rank (in 2019), PUCE's position declined from the 1st to the 5th rank over the same period, and UC declined in ranking from the 6th position to the 9th, and most importantly this institution's position declined linearly from 2014 onwards. Figure 1 shows the average production level of articles in peer-reviewed international journals of the 11 selected Ecuadorian universities over the period 2009-2019 versus the production of scientific articles in SCOPUS by KU Leuven² in the period 1965-1974. The average annual production level of SCOPUS registered publications for the 11, publication-wise most productive, Ecuadorian universities is very similar to the annual production of KU Leuven, but 45 years ago. This institution is today the first Belgian university in the QS World University Ranking 2020 and occupies the 80th rank worldwide.

This brief analysis is only related to the institution's ability to publish research results in international peer-reviewed journals registered in the SCOPUS journal database. To obtain a complete image of the scientific production in the format of articles of Ecuador's HEIs, a similar analysis of research results published in national and international journals of a lower level is necessary, for example, in journals registered in Latindex, DOAJ, Redalyc, REDIB, or even local journals not even registered in journal databases. This will not be that easy to accomplish given the large number of active and inactive magazines each

² KU Leuven: Catholic University of Leuven, Leuven, Belgium

institution publishes. Another interesting metric to measure the research level of an institution, but also not so easy to achieve, is the total number of citations. Probably, a simpler inventory could consist in conducting a survey of the citation index of the professors and researchers of each institution.

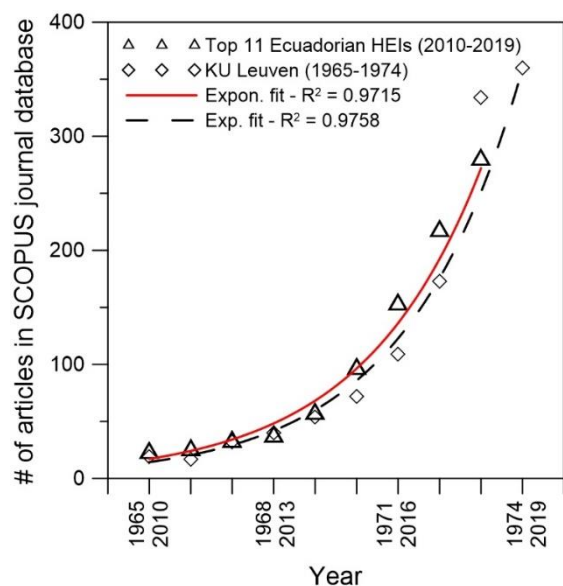


Figure 1. Average number of articles published in journals registered in the SCOPUS database by the top 11 Ecuadorian universities (EPN, ESPE, ESPOL, PUCE, UC, UCE, UDLA, UG, UPS, USFQ, UTPL) in the period 2010-2019 and the number of articles published by the KU Leuven in journals registered in SCOPUS in the period 1965-1974.

The title of an article published on the 27th of May 2019 in the newspaper EL MERCURIO³ mentions that “Ecuador is 20 years behind its scientific innovation environment”. It is the conclusion of a team of national and international experts in the field of scientific innovations who debated in Quito about the need for Ecuador to advance in terms of technological innovation, especially when it is 20 years away from the surrounding countries. According to the experts in the meeting, Ecuador has not made the “leap” that marks a positive impact on the productive sector, despite the introduction in 2008 of the National Secretariat of Science, Technology, and Innovation (SENESCYT), with the aim of promoting the spin-off of investigation. Although, the creation of SENESCYT, translated in number of patents submitted by Ecuadorian residents, is considerable and resulted in an increase of 268% between 2009 (19 patents) and 2018 (51 patents), the number of patents remains low in comparison to Ecuador's neighboring countries. Experts in the meeting also indicated that Ecuador in 2014 only dedicated 0.44% of GDP to research and development, while the countries of the Organization for Economic Cooperation and Development (OECD) dedicated 2.4% of GDP. Investment in research and innovation in Ecuador amounted in 2014 \$50.84 per capita; for the years following no information is available, not allowing to assess if the country increased investment

in research and innovation. An additional observation, made in the meeting, is that the resources for R&D are very inefficiently used, due to (i) the enormous fragmentation of resources over a large number of public (30) and private (49) institutions; (ii) the weak cooperation between HEIs and industry, between researchers belonging to several units within an institution and between institutions; and (iii) the overall low research level of most universities. One of the conclusions of the experts meeting is that Ecuador needs to change “drastically” because, otherwise, a “drastic, complex and dark” future could occur.

The analysis shows clearly that whatever classification system used, Ecuadorian universities are lagging behind, the HEIs ought to take and implement drastic political and strategic decisions to correct the dramatic backlog in certain areas of the academy.

2. CHANGE COURSE

According to Öszoy (2008) higher education provides an important form of investment in human capital development, and is it rightly regarded as the engine of development in the 21st world economy. This author summarizes the contribution of higher education to development as follows: (i) the provision of manpower to the society with professional, technical and managerial skills; (ii) the provision of not just educated workers, but knowledge workers; (iii) the provision of a new generation possessing the capacity to make possible attitudinal changes necessary for the socialization of individuals and the modernization and overall transformation of societies; (iv) HEIs help through teaching and research in the creation, absorption and dissemination of knowledge, in the formation of a strong nation-state and in globalization; and (v) last but not least higher education allows people to enjoy an enhanced ‘life of mind’ offering the wider society both cultural and political benefits.

Analysis of the QS World University Rankings® 2020, as outlined in previous section, clearly illustrates that a range of HEIs for several reasons do not score well, particular in the middle-income and less developed countries. The latter countries, due in part to the lack of well performing HEIs, have a low to medium Human Development Index, and are still struggling to establish itself in all fronts and make itself sovereign. So to move to the status of “developed country”, an important tasks of the lesser developed countries is to create and/or transform the HEIs to well-functioning engines assisting the society in evolving step-by-step to the status of a country having an acceptable standard of living, health care, industry, infrastructure, transportation, communication and technological advancement, higher per capita income, increase in life expectancy, etc. The question is what a country needs to do for evolving from the current less developed status to a more prosperous society for every individual and the community as a whole? Similarly, what must the HEIs do to improve their entrepreneurship towards society? If the HEIs can improve their role in the society, they will automatically improve their ranking at national and international level. With respect to the

³ <https://ww2.elmercurio.com.ec/2019/05/27/ecuador-esta-20-anos-por-detras-de-su-entorno-en-innovacion-cientifica/>

Ecuadorian HEIs, the question can be raised if they possess the capacity and means to reduce the gap in ranking with the more performing Latin American universities, let alone with the majority of universities in the northern hemisphere. Can Ecuador's HEIs turn the tide?

In the following, based on the analysis of the ample literature on this subject (Reichert & Tauch, 2004; Bryde & Leighton, 2009; Underwood, Williams, & Thurairajah, 2009; Jiju, Krishan, Cullen, & Kumar, 2012; Cardoso, Tavares, & Sin, 2015; Heitor & Horta, 2016; Prakash, 2018) an attempt is made to define what universities today ought to do to improve their performance and contribution to society's progress, and in parallel their ranking. It is complex and challenging, but essential for the regional and country's development. Actions to be taken are:

1. Invest in quality. Programs should be frequently evaluated as to continuously improve their quality. Quality programs require a curriculum that is reviewed and refreshed with emerging content. In fact, learning goals ought regularly to be re-examined and strengthened in tandem with the human capital needs of the society and economy. Foregoing comes down to linking study programs to jobs, involving the linking between universities, the local and international private sector and policymakers.
2. Harness the potential of modern learning approaches, such as activity and experimental based learning, blended learning, online learning, personalized learning, the blending of disciplines, the integration of artificial intelligence technologies, and so on. Social sciences should not be forgotten in the overall picture of education; there are too many stories of technological developments not serving. Cross boundary education programs are more than ever needed. Independent of the study field, teaching should involve more and more the active interaction between docents and students, as to prepare students to the conditions in the workplace.
3. Make research an essential and mature component of higher education. Students when involved in research-based learning will learn more and better than when they would without the integration of research. Doing so, will automatically improve the overall quality of the thesis projects students are supposed to make before graduation, and might lead to a gradual transfer of a classical dissertation to a research or technical note, or even an article, which in turn will contribute to an improvement of the institution's visibility. Further on, teachers in collaboration with researchers should be actively involved in research, and contribute group-wise to innovations fueling local development and economic growth. The latter also involves a strong synergy between academia and industry.
4. Stimulate collaboration within the institution between disciplines and across institutions. A claim often made is that by lack of funding and human resources cutting-edge teaching and research tackling problems related to the local and regional needs cannot be accomplished. Forming collaborations at local level between disciplines and among scientists in different

universities might enable to make progress. Similarly, universities should strive making strong links with the private and public sector. For example, businesses can partner with local universities to create high quality STEM or STEAM curricula⁴. Additionally, businesses could help faculties to design and deliver courses that equip students with both a deep understanding of science and technology, as well as practical skills for the workplace.

5. Develop innovation hubs where students of different fields, including social sciences, and research staff are engaged in experiments pertinent to what their world of work would look like. Hubs will not only contribute to an improvement of the institute's prestige, but also stimulate the public and private sector to invest in spinoffs and start-ups.

The implementation of those and other measures will not only require a fundamental change of the policy and management of the institution's academic authority, but requires most probably an even more adjustment of the philosophy and policies of the government administrations, in charge of the funding, control and evaluation of the public higher education institutes, and the quality control of private universities. The question that should be raised is if in Ecuador, administrations like SENECYT, CACES and CES, did line-up their regulations with what universities stand for and how they should fulfil their role in the technological driven knowledge society of the 21st century? That universities can play their role, shall not only depend from the funding level, but also and perhaps even to a greater extent, of the quality of the regulations applied by these administrations. As an example, the limited success of the costly PROMETEO program is likely due to the fact that the program was not adjusted to the today needs and operation of Ecuador's HEIs. It will be without doubt beneficial for the challenging tasks of the HEIs should administrations, like SENECYT, CACES and CES, fine tune their policy and regulations to what the society expects from higher education; how higher education can be made more performant and contributing to the overall well-being of the society.

A major concern of the 30 public universities, with the exception of a few institutions, is the uncertainty in government financing, which led to numerous manifestations in the past. It is classical towards the end of the year, the beginning of the new calendric year that rumors surge that the government intends lowering the university's budget, primarily because the university not completely spent the budget of the past year, to which the university replies that they could not do so because government funding was transferred late. However, whatever the reason, it is evident that the public universities will use the uncertainty and late transfer of government funding as an excuse of not being able to improve their performance, and as such not being able to improve their ranking at national and international level. However, from economic point of view the question could be raised if it makes sense to invest public funding in universities with a low score in national and international ranking systems. With reference to the HEIs listed in

⁴ **STEM** stands for Science, Technology, Engineering and Mathematics, while **STEAM** stands for Science, Technology, Engineering, Arts and Mathematics. Both, however, are far more than just sticking those subject titles together, it is a philosophy

of education that embraces teaching skills and subjects in a way that resembles real life (Connor, Karmokar, & Whittington, 2015; Madden *et al.*, 2013; Walker, 2015).

Table 1, only 6 of the 17 universities, or 35.3%, are public institutions, representing only 20% of the 30 public Ecuadorian HEIs. Given the relatively large spread in the performances, perhaps a logic decision of the government could be linking funding to the institution's ranking, and to increase government's allowance only when the university shows being capable of moving up in ranking. Of course, the QS ranking system cannot be used for such an exercise since it is not adapted to Ecuador's reality; it would involve the selection of a ranking system adjusted to the Ecuadorian conditions. But as illustrated in several countries (Burke, 2002; Herbst, 2007; European Commission, 2014; de Boer *et al.*, 2015) coupling of funding to the institutions' performance stimulates HEIs to work on improving their performance. Of course, given the overall modest economic situation of the country, the Ecuadorian government could eventually decide to reduce the number of public HEIs, and redistribute the current package of financial resources for higher education over a smaller number of institutions, as a result of which the allowance per institution, whether or not coupled to the institutions performance, will increase and enable the institutions to work on improving their performance. The latter option is probably politically not feasible, neither in the short nor the long term.

Although, Ecuador's better performing universities project themselves as HEIs with national and international recognition for its excellence in teaching with research and relationship with the society, in line with regional and national development plans and with a positive impact on the society, based on their position in the QS ranking system and the fact that most of those institutions dropped in ranking (see Table 1), the authorities of the institutions in cooperation with the contingent of employees ought to take the actions that will result in a gradual improvement of the institution's performance. In essence this comes down to transforming a mainly teaching university to a full-fledged, research and job-oriented educational institute; in other words, turning the university into a higher education institute capable of delivering graduates that possess the knowledge and skills needed to cope with today's and tomorrow's challenges; it is producing graduates that are able in cooperation with all societal actors to improve the well-being of the people at local, regional and country level while assuring sustainable economic growth in harmony with the environment. It is evident, that modernization of the university or bringing the university in line with the requirements of the 21st century is not only the responsibility of the authorities but also of the cohort of academic, technical and administrative personnel. It is a very complex process, all the more as a result of the backlog of the institutions compared to the more advanced universities in Latin America and the economic more developed countries.

In the following section an attempt is made to concretize what exactly can -need to- be done to improve the overall performance of the university to a successful conclusion in the long term.

3. REENGINEERING THE UNIVERSITY IS ESSENTIAL TO ADVANCE

In principle, monitoring and measuring the efficiency and effectiveness of education, both at the lowest and the

highest levels, is a continuous task of the government administration responsible for education as to guarantee that graduates are prepared in the best and most efficient way for the continuous changing challenges of society. There is great evidence that education has a high impact on a country's economic development. According to Dumciuvienea (2015) depends the growth and welfare of a society more and more on knowledge-intensive industries and services, involving an increasing number of personnel with higher education qualification. Economic and social effects and human welfare are directly related to the quality of the educational system, it not only positively affects earnings at the personal level but also non-monetary outcomes, such as health, the health of family members, the schooling of one's children, life choices made, fertility choices and infant mortality. A good educational system also has a positive effect on the environment and has a strong influence on crime reduction. Based on the regression of the socio-economic situation of several countries in Latin America and the overall medium to low ranking of the majority of its higher education institutes is a clear sign that the current educational system is not producing the graduates the society needs to turn the tide. Likely previous is partly due to the allocation of insufficient government funding to education. Given the current country context, the question can be raised what need to be done as to wake up the Ecuadorian higher education platform.

As the first cause of the medium to poor performance of higher education, the authorities generally indicate that the financial means are insufficient to implement the necessary changes. As stated earlier, the cause of this might be that the government budget for higher education is distributed over too many HEIs, a total of 30 public universities for a country population of 17.4 million residents; which amounts to one public higher education institution per 0.59 million residents. A hypothetical reduction in the number of public universities, will likely automatically result in a higher funding for the remaining institutions but at the same time in a higher influx of students, such that it is not that likely that the financial resources per student will significantly increase. It may be probably more obvious for the public universities to conduct a thorough investigation into the efficiency with which the available resources are used, in order to create room for interventions that result in an improvement of the institution's performance and ranking.

Before enumerating a series of measures, it is recommended to first design a global plan in collaboration with the various actors and then submit it to the wider academic community for discussion. Based on the discussions, the plan may or may not be adjusted and/or expanded. The reason for this approach is obvious because of the interaction between the measures to be taken. The overarching goal of the plan ought to improve the educational, research and outreach profile of the institution, and at the same time a strengthening of the interaction between the three profiles. It means, a professor should be involved in teaching and research, and both activities ought to be closely related to the real world; similarly, students should receive an integrated package of learning material and practice that prepare them best for life after the university. An important aspect thereby is that during the education all students are forced to cultivate the pursuit of lifelong learning. In contradiction to the past, learning does not stop at graduation; the dynamics of

today's society requires continuous schooling during the professional career. This is not only true for the students, even more for the academic staff and researchers. They should be ahead and being able to integrate all new technological and sociological developments in the study material. Important side aspects that ought to be included in the renewed learning process are the knowledge of the English language, the development of the culture of reading and writing, the working together among students and the lecturer, and the connectivity and interaction with the society.

Main shortcomings in the current system, most often a consequence of unrealistic and poor government regulations, is that the primary task of academic staff is teaching, with a teaching schedule varying between 16 and 24 hours in a week, leaving extremely little time left for other academic tasks such as research and the supervision of students. Supervision of students in their reading, writing and learning is super-important, because that is the way that the attitude of self-learning emerges and strengthens. It is really old fashion such a heavy teaching load at university level. Even more old fashion is the government regulation that the number of alumni in the class should not exceed 30 to 40 students, as a result of which the method of education at the university reduces to the educational approach at high school level, where the professor transfers knowledge to the students spoonwise. The learning process must be organized in such a way that students make the greatest effort and the teacher mainly acts as a coach of the learning process. In order to get the students to take control of the learning process themselves, many modern learning techniques can be used, such as blended learning being self-study combined with group discussions, distant learning, etc. The step needed to reduce the number of teaching hours consists in either the organization of teaching in large lecture rooms with a capacity between 150 to 500 students equipped with audio and other technological devices enabling the lecturer to interact with the students, or the WOW⁵ Room concept, being today the most advanced lecturing approach that breaks with the traditional onsite, blended and online education models. The lecturer stands in a virtual classroom (<https://www.timeshighereducation.com/world-university-ranks/ie-university>), with a curved wall of screens, displaying the images of up to 80 participating students, who are joining the class from different places. During the lecture students can contribute and join the debate. High level courses of the institution can in this way be followed by students of other universities and will contribute to an improvement of the prestige of the institution from where the class is broadcasted. Indirectly, it might stimulate team lecturing, whereby academicians from different disciplines work together in the development of advanced lecturing material. This evolution will lead to the organization of common courses over the boundaries of faculties, and with the use of modern teaching technologies will strongly reduce the teaching load of the contingent of professors, creating hours the academic staff can devote to research and other academic activities. The evolution on lecturing approaches in the near future will be enormous and according to Hauptfeld-Göllner (2016) it is to be expected that in 2030 eighty per cent of lecturing will be delivered by massive open online courses, online courses, video and video-call sessions from experts in the field, methods that

do not require attendance in class. Not to run after the evolution in lecturing, Ecuador's universities be better prepared and stimulate staff to master the new developments in lecturing and stimulate them to apply the new technological-based lecturing methods step-by-step in their teaching.

The hours that are released as a result of the reorganization of teaching provides the opportunity to academic staff dedicating time to research, which in the long term will result in an increase in the production of scientific articles positively affecting the institution's ranking, and social and technological contributions to the society, essential with regard to the justification of the public financial resources HEIs consumes. Getting into research when the main academic activity has been teaching is not that easy; this also applies to the new generation of graduates when their education is still based on the old approach, i.e. essentially passive absorption of knowledge. For students it is a must to be actively involved in research during their study and, in addition, trained in the reading and analysis of research papers, preferably related to the subject of specialization. Not only scientific articles in their mother tongue, but also the reading and analysis of articles in English should be mastered, because the English scientific literature cover a broader view of the scientific developments around the globe.

In preparation of the dissertation, students should also be trained in academic writing, and this from the early years of the program onwards. Foregoing requires that solid research groups are present in the institution, yielding research applications suitable to be analyzed and handled by students, and this during the development of the undergraduate and/or graduate thesis project. It is fundamental that the thesis project not only reduces to a scientific exercise such as the review of literature but deals with technological and societal developments and the finding of appropriate economic solutions for the broad spectrum of societal problems. Previous can only be realized given research groups be in touch and cooperate with the various actors of the society.

To get the staff with low to moderate experience in research actively engaged in investigation it is essential that coherent and well-functioning research groups are present in the university, to which they can be associated. The latter can only exist and survive given academic personnel and researchers work together. Working together becomes very important given the complexity and multidisciplinary nature of the problems the society is confronted with. The effectively and success with which solutions are generated might even increase when cooperation links are established between scientists belonging to different national and international institutions. Working together, over the borders of the faculty and the institution, in connection with the society becomes every day more essential to make progress, something that seems to be very difficult and not very common in the Ecuadorian society. To train the young generation in this, it is imperative to organize during the program project-oriented activities in which the students are trained in group work, a skill very much needed in professional life. In a modern HEI ought teaching and research, both with a connection to practice, to be interwoven and students are supposed to play an entrepreneurial role.

⁵ WOW room: Window on the World room

What without doubt obstructs the operation of public universities is the awkward and cumbersome hassling of documents. For every activity or action, a set of documents need to be prepared and signed at different levels of the administrative hierarchy; for example, contracted staff have to prepare every fortnight or month an outstanding report of their activities, reports that are seldom or even not read. Enormous time is lost in the passing of documents from one level to another level. The continuing dominance of the administration is also likely the consequence that professors by tradition possess a very individual attitude and do not have attention to emerge as a coherent front to rise in rebellion, and urge the administration to modernize, to be an aid in teaching, research and outreach, not an obstacle. The nature of the role of the administration should be supporting the authorities, professors, researchers and students in the organization and handling of administrative matters rather than to take the lead and overload the institution with needless and inefficient bureaucratic matters, for the simple reason as to stay in control of the strings. Time is running out, the administration of public HEIs ought to shift the focus of control to service.

Furthermore, typical for the public institutions is the development of regulations; for each new initiative an agreement is made subject to approval at the different levels of the hierarchical ladder. Similarly, the handling and financial processing of research projects are complex and it is not exceptional that for this reason academic staff does not want to initiate research activities. The complex nature of the administrative procedures should not be surprising, given the bureaucratic character of government services. The working method contrasts sharply with the procedures at overseas universities. There, the emphasis lies on the approval of the project, and once approved, it is the responsibility of the project coordinator to implement the project in terms of content and received financial means. Usually, the project coordinator, a professor or appointed researcher, has an institutional online bank account on which the project funds are deposited, and he/she can manage the financial resources in accordance with the specifications in the approved project proposal. In the event of deviations in the use of financial resources, the coordinator must request prior permission from the donor. The online research accounts are so designed that the project coordinator cannot spend more than the awarded grant. Such an approach simplifies considerably the administrative control and handling of research projects. It is the responsibility of the project coordinator to submit a financial and substantive report to the donor for approval upon completion of the project. The nowadays available digital and innovative technologies should be applied in a responsible way to streamline and simplify all bureaucratic processing, not only the bureaucratic handling of research projects but also the administrative processing of all services. The administrative services in public universities absorb a considerable fraction of the annual budget, and by their upgrading more means could become available for teaching, research and extension, the primary objectives of higher education.

The most difficult problem to deal with in the reengineering exercise of academic institutions are the

authorities, who have been in charge of the management of the university for decades. The question can be raised if they are really preparing the institution for the 21st century, taking into account that most of the time they operate and manage the institution with 20th century thinking (O'Brien, 2008). It is fair to ask if the governance structure of today is suited for the complexities of higher education in the 21st century? As formulated by Santa Ono (2017), the 15th President and Vice-Chancellor of the University of British Columbia⁶ "Do the participants in governance – the Consejo Universitario – have the expertise, the discipline, the authority, and the accountability necessary to cope with the powerful social, economic, and technological forces driving change in the society and its institutions?". Today's challenging academic environment demands a new way of governance. Governance in most of the public higher education institutions in Ecuador is top-down and geared to remain in control of power. The University Council – the so-called democratic decision organ of the university – in which, in addition to the authorities, the deans and vice-deans, the directors of a number of administrative services participate, are organized bi-weekly and discusses usually for hours on regulations, faculty and other matters, but seldom a debate is held how the institution should evolve, adapt, and governed. From a small nuclei of governance, the governance system urgently needs to evolve to "Shared Governance", consisting of a dialogue among boards, directors, deans, faculties, administrative services, staff and student unions, etc. It is even desirable to include into the board of the institution highly representatives of public and private institutions, as to be well informed of the socio-economic situation in the field. It is complicated yet it is a much-needed path, and more and more discussion around the globe are taking place on shared governance. Important issues to be tackled by the authorities are the delegation of authority, responsibility and decision making, controlling that the government at the different levels is free and remains free from corruption, collusion and nepotism, continuous updating of the institution's mission, evaluation if the institution fulfills its mission effectively now and in the future, and if necessary taking sound, corrective and effective measurements.

4. CONCLUSIONS

The performance of the Ecuadorian universities is, according to the QS World University Ranking system, not so excellent, only 4 HEIs of the 30 public and 49 private institutions are among the 1000 worldwide highest ranked universities. At the level of Latin America, 11 universities rank among the top 200 institutions, and a total of 17 institutions are within the top 400 HEIs. Publication-wise accumulate Ecuador's top universities a tremendous backlog of the order of 45 years in comparison to educational institutions belonging to the world 100 best ranked institutions. The main focus of most public and private HEIs in Ecuador is on teaching and the governance of the institutions is still very much alike as the way higher education institutions were governed in the 20th century,

⁶ <https://president.ubc.ca/speech/2017/03/03/university-governance-in-the-21st-century/>

it is a top-down governance. To improve the institutions performance and beneficial effect towards the society, universities should teach students to be successful in a 21st century knowledge-based economy, train the students heavily in entrepreneurship, self-learning and discovery, be more involved in research preferably in close cooperation with the economic and social actors of the society, evolve from the 20th century type of governance to shared governance consisting of a delicate balance between faculty and staff participation in planning and decision-making, on the one hand, and the authorities and administration on the other hand. Improvement of the institutions' performance is possible given: (i) the authorities wake-up and realize that a modern university requires a different governance and management, a system in which the academia instead of the administration governs; (ii) individual professor's to the whole system work on fostering basic academic values (academic freedom, autonomy, excellence, university community, and so on); (iii) a proper environment and institutional mechanisms (formal and informal) are in place; (iv) a transparent cooperation in teaching, research and outreach over the borders of the faculties and institutions at national and international level is pursued; and (v) staff and employee nomination and promotion is based on employee's performance. The regulation to recognize and reward teaching and research contributions through nomination or promotion enables the university to achieve its strategic teaching and research goals, while simultaneously advancing and sustaining its community of academics and research scholars and their professional standing in the national and international environment.

REFERENCES

- Bryde, D., & Leighton, D. (2009). Improving HEI productivity and performance through project management. *Educational Management Administration & Leadership*, 37(5), 705-721. <https://doi.org/10.1177/1741143209339649>
- Burke, J. C. (2002). *Funding public colleges and universities for performance*. Birmingham, Alabama, USA: Rockefeller Institute Press.
- Cardoso, S., Tavares, O., & Sin, C. (2015). The quality of teaching staff: higher education institutions' compliance with the European Standards and Guidelines for Quality Assurance – the case of Portugal. *Educational Assessment, Evaluation and Accountability*, 27, 205-222. <https://doi.org/10.1007/s11092-015-9211-z>
- Connor, A. M., Karmokar, S., & Whittington, C. (2015). From STEM to STEAM: Strategies for enhancing engineering & technology education. *International Journal of Engineering Pedagogy*, 5(2), 37-47. <http://dx.doi.org/10.3991/ijep.v5i2.4458>
- de Boer, H., Jongbloed, B., Bennenworth, P., Cremonini, L., Kolster, R., Kottmann, A., Lemmens-Krug, K., & Vossensteyn, H. (2015). *Performance-based funding and performance agreements in fourteen higher education systems*. Report for the Ministry of Education, Culture and Science, 164 pp. Center for Higher Education Policy Studies, Universiteit of Twente, Enschede, The Netherlands.
- Dumciuviene, D. (2015). The impact of education policy to country economic development. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, 191, 2477-2436. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.04.302>
- El Mercurio (2019). Ecuador está 20 años por detrás de su entorno en innovación científica. Disponible en <https://ww2.elmercurio.com.ec/2019/05/27/ecuador-esta-20-anos-por-detras-de-su-entorno-en-innovacion-cientifica/>
- European Commission (2014). *Performance agreements and their relationship to funding in higher education*. The Hague, The Netherlands: ET2020 country workshop.
- Hauptfeld-Göllner, P. (2016). Five ways the lecture halls of 2030 will be different. The 28th Conference of the European Association for International Educators (EAIE). Liverpool, UK. Available at <https://www.timeshighereducation.com/news/europe-an-association-for-international-education-eaie-conference-2016-five-ways-the-lecture-halls-of-2030-will-be-different>
- Heitor, M., & Horta, H. (2016). Reforming higher education in Portugal in times of uncertainty: The importance of illities, as non-functional requirements. *Technological Forecasting and Social Change*, 113(Part B), 146-156. <https://doi.org/j.techfore.2015.09.027>
- Herbst, M. (2007). *Financing public universities: the case of performance funding*. Dordrecht, The Netherlands: Springer.
- Jiju, A., Krishan, N., Cullen, D., & Kumar, M. (2012). Lean Six Sigma for higher education institutions (HEIs). Challenges, barriers, success factors, tools/techniques. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 61(8), 940-948. <https://doi.org/10.1108/1741040121177165>
- Król, A. I., & Dziechciarz-Duda, M. (2013). On the non-monetary benefits of tertiary education. *Ekonomometria*, 41, 78-94.
- Leach, A. (2015). 15 steps closer to quality higher education in Africa. *The Guardian*. Available at <https://www.theguardian.com/global-development-professionals-network/2015/aug/10/15-steps-closer-to-quality-higher-education-in-africa>
- Madden, M. E., Baxter, M., Beauchamp, H., Bouchard, K., Habermas, D., ..., et al. 2013. Rethinking STEM education: An interdisciplinary STEAM curriculum. *Procedia Computer Science*, 20, 541-546. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2013.09.316>
- O'Brien, J. (2008). Are we preparing young people for 21st century citizenship with 20th century thinking? *Contemporary Issues in Technology and Teacher Education*. [Online serial], 8(2), Retrieved from <https://www.citejournal.org/volume-8/issue-2-08/social-studies/are-we-preparing-young-people-for-21st-century-citizenship-with-20th-century-thinking-a-case-for-a-virtual-laboratory-of-democracy>
- Özsoy, C. E. (2008). The contribution of higher education to economic development. In: Ciampi, F., & Gupta, A. (Eds.). *Proceedings of the 8th Global Conference on Business & Economics*, 1354 pp. Lynchburg, Virginia, USA.

- Prakash, G. (2018). Quality in higher education institutions: insights from the literature. *The TQM Journal*, 30(6), 732-748.
<https://doi.org/10.1108/TQM-04-2017-0043>
- QS World University Ranking (2020). The top 200 universities in Latin America. 64 pág. Disponible en <https://www.topuniversities.com/universities/country/ecuador>
- QS World University Ranking (2020). Who rules? The world's top universities in 2020. 56 pág. Disponible en <https://www.topuniversities.com/university-rankings/world-university-rankings/2020>
- Reichert, S., & Tauch, C. (2004). Reforming Europe's higher education area: As the fog clears, new obstacles emerge. *International Educator*, 13(1), 34-41.
- SCOPUS-Reed Elsevier. (2019). Disponible en <https://www.scopus.com/>
- Underwood, J., Williams, A., & Thurairajah, N. (2009). Improving performance through HEI-industry engagements in the built environment. *Industry & Higher Education*, 23(1), 39-49.
- Walker, M. (2015). Imagining STEM higher education futures: advancing human well-being. *Higher Education*, 70, 417-425.
<https://doi.org/10.1007/s10734-014-9843-9>



Research paper / Artículo científico

Experiences in the application of the Flipped Learning model in a Music Technology course

Experiencias en la aplicación del modelo Flipped Learning en un curso de Tecnología Musical

José Urgilés¹, Galo Carrión¹, Verónica Pinos-Vélez², Victoria Abril-Ulloa³, Karina Quinde-Herrera⁴

¹ MediaLab Facultad de Artes, Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador.

² Facultad de Ciencias Químicas, Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador.

³ Carrera de Nutrición y Dietética, Facultad de Ciencias Médicas, Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador.

⁴ Dirección de Investigación, Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador.

Autores para correspondencia: karina.quinde@ucuenca.edu.ec

Fecha de recepción: 17 de mayo de 2019 - Fecha de aceptación: 6 de septiembre de 2019

ABSTRACT

The increasing use of information and communication technologies (ICTs) modified many tasks and strongly altered our behaviors. Having this in mind, the Flipped Learning (FL) model provides a promising learning alternative that links the learning environment with the student's behavior while altering the traditional instruction model. The FL model involves activities in which students individually review online materials and develop projects and assignments in groups and on-site. The objective of this study was to evaluate the flipped learning model in arts education, more precisely how the introduction of this model affects the learning of the students from the University of Cuenca attending the course of music technology. The findings of this study highlighted the benefits of active learning and the acceptance of the material developed for the implementation of the FL model. Notwithstanding, the overall positive evaluation of the FL approach, the authors suggest carrying out more studies, involving a larger student population, to better identify and remedy remaining obstacles, what will facilitate the use of the FL model in other courses.

Keywords: ICTs, flipped learning, music technology, Ableton Live.

RESUMEN

El uso creciente de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) ha modificado muchas tareas y sobre todo alterado nuestro comportamiento. En este contexto, el modelo *Flipped Learning* (FL) ofrece una alternativa de aprendizaje prometedora que vincula el entorno de aprendizaje con estos nuevos comportamientos del estudiante al modificar el modelo de instrucción tradicional. El modelo FL incluye actividades en las que los estudiantes revisan individualmente material en línea y desarrollan proyectos y tareas en grupos en las aulas. El objetivo de este estudio fue evaluar el modelo de aprendizaje invertido en educación artística, específicamente cómo la introducción de este modelo afecta el aprendizaje de los estudiantes de la Universidad de Cuenca que asisten al curso de tecnología musical. Los resultados de este estudio destacan los beneficios relacionados con el fomento del aprendizaje activo y la aceptación del material desarrollado para la implementación del modelo FL. A pesar de la evaluación positiva general del enfoque de FL, los autores sugieren que se realicen más estudios, con una población estudiantil más numerosa, para remediar los inconvenientes identificados durante el proyecto, lo que facilitará el uso del modelo de FL en otros cursos.

Palabras clave: TICs, modelo invertido, curso tecnología musical, Ableton Live.

1. INTRODUCTION

Since the end of the 20th century, the development of information and communication technologies (ICTs), the rapid proliferation of mobile devices, and the spread of Internet changed our style and methods of communication and work. In particular, these developments affect the way we create, consume, and share content. These changes also modified learning dynamics and the ways students

learn. For example, in recent years, universities worldwide adopted several types of online education. In addition, numerous open learning platforms enable users today to learn or refresh their knowledge without attending educational centers. Certain of these platforms even received certification that attests the learning quality of those methods.

In this context, educational institutions have been forced to redefine their assumptions regarding the teaching and



learning processes (Garrison & Kanuka, 2004) and to adapt to these new scenarios. The adjustment has been necessary because a large percentage of today's students belong to a generation whose behavior and learning style have been modified by the emergence of Internet, mobile devices, and ICT. In Ecuador, for example, with a population in 2019 of 16.7 million, Internet penetration has reached 80%, 11 million individuals (64%) actively use social media, and 12.25 million access the Internet using a mobile device (Hootsuite Media Inc., n.d.). Against this background, several education models, such as blended learning (BL), saw daylight to introduce new ways of accessing knowledge through modifying the traditional learning model and by taking advantage of online resources.

Most courses promote the traditional classroom configuration, in which concepts, facts and historic events are introduced in face-to-face sessions, complemented by assignments that are meant to be completed at home; enhancing passive learning. In addition, traditional instructors can become complacent and turn learning into memorizing terminology instead of helping students comprehend such terminology (Mennella, 2016). Blended learning (BL) or flipped learning (FL) models increase the efficiency of class time and learning activities, and achieve high levels of learning, mostly through personalized student assignments (Sams & Bergmann, 2013). BL can be defined as “the thoughtful integration of classroom face-to-face experiences with online learning experiences” (Garrison & Kanuka, 2004). On the other hand, Mennella (2016) defines FL as “a pedagogical approach to teaching and learning in which the initial exposure to course content occurs at home before the students come to class, typically provided through online videos”.

Given the complexity of BL and its resource requirements, the implementation, design, and application of BL represents a challenge for professors and institutions. Studies on BL provide basic information on the development of the online or pre-class stage as well as the face-to-face stage or classes, while studies on FL present a more detailed description and interaction of the two stages (Lee, Lim, & Kim, 2016). The two essential

components of FL are the pre-class stage, which involves the use of the Internet and a class component, i.e., face-to-face interaction. An important challenge is to effectively integrate the two components. To this end, a reconceptualization and reorganization of teaching and learning dynamics are essential (Garrison & Kanuka, 2004).

Several studies define the flipped classroom and FL in similar ways (Fidalgo-Blanco, Martínez-Núñez, Borrás-Gene, & Sánchez-Medina, 2017; Kim, Heo, & Lee, 2015). This overlap largely occurs because “flipping” the class results in activities outside the classroom and consists mainly in sharing knowledge (e.g., the professor's presentation of material), whereas in-class activities revolve around understanding the subject and cooperation among student pairs (Fidalgo-Blanco *et al.*, 2017). However, the FL model involves a deeper integration of the pre- and in-class components in which the main concepts align with the knowledge that is imparted. As a result, students develop at their own pace while adopting self-directed learning, and active interaction occurs between students and professors (Kim, Kim, Cho, & Jang, 2017). FL is also considered to be an extension of the flipped classroom, which includes a more active and collaborative environment (O'Connor *et al.*, 2016). In addition, according to Hussey, Richmond, & Fleck (2015), development of materials can occur according to Bloom's taxonomy (Fig. 1). Thus, activities that involve lower levels of learning (i.e., remembering or understanding) are assigned for completion during the pre-class, whereas activities that involve higher levels of learning (i.e., evaluating or creating) are undertaken during the face-to-face stage.

The *Flipped Learning Network* (n.d.) proposes four fundamental pillars of the FL model. First, creating a flexible environment that facilitates a variety of learning modes in which professors create flexible spaces and provide support in group work as well as on individual assignments. Second, creating a student-centered learning culture that facilitates the active construction of knowledge. The third pillar involves using intentional content, which means prioritizing concepts used in direct instruction, creating or organizing relevant content

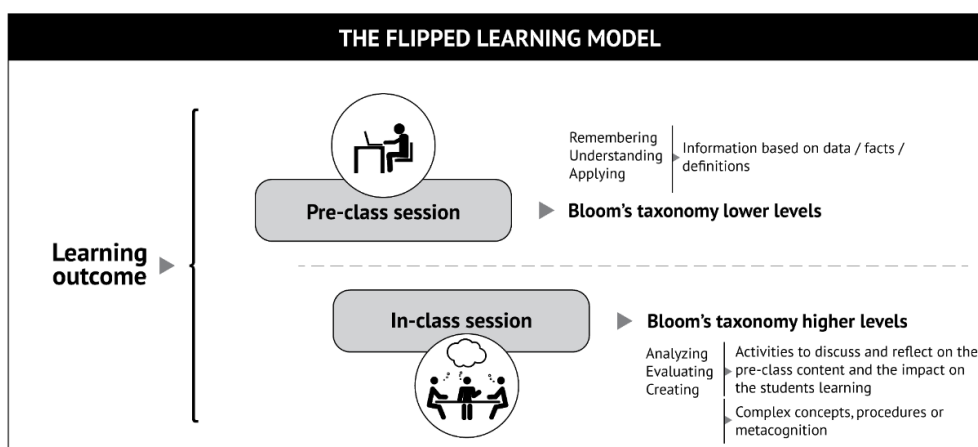


Figure 1. The Flipped Learning Model. The main objective within the model is to liberate time in the in-class session to be used in group activities to discuss, reflect and learn complex concepts, procedures or metacognition processes. Adapted from Hussey *et al.* (2015).

(videos) and providing materials that are accessible and relevant to students. Finally, the last pillar focuses on establishing the professional role of the educator, such as being available and providing feedback to students (individually or in groups), promoting formative assessments, and collaborating with other colleagues to transform the educator's practice.

Flipped Learning has been applied in some courses of university education such as English, informatics, and specific subjects of medicine and nursing among others (Heeseung *et al.*, 2015; Noor-Akmal, 2016; O'Connor *et al.*, 2016; Oh, Kim, Kim, & Vasuki, 2017; Pence, 2016). In these studies, advantages found when FL was applied were more engagement in the course, self-regulation and more motivation in comparison with regular classes. Few studies on the application of the FL model in arts courses were found. Therefore, in this article, we present our experiences using the model in a music technology course taught between March and July 2017. Our study investigated the use of the digital audio workstation (DAW) *Ableton Live 9* to produce sound in a linear and nonlinear format for live recordings and final cuts. This article presents the results of the FL approach through pre- and posttests, and a questionnaire aiming to evaluate the effect of FL halfway the course.

2. MATERIALS AND METHODS

A nonprobability sample was chosen based on the availability of the course within the degree program. Classes lasted 16 weeks and consisted of two hour-long, face-to-face sessions and an estimated two hours of pre-class work per session. The study population consisted of a group of seven students, each of whom had access to a personal computer. The two educators who developed the materials for each lesson of the semester-long course participated in the application of the inverted model.

Initially, a survey was administered and based on a questionnaire by Humante-Ramos, García-Peñalvo, & Conde-González (2016), previously developed by Marín-Juarros (2014). The questionnaire was used to obtain data about the characteristics and behavior of the students regarding their use of ICTs. The collected information was used in the design of the course. For the quasi-experimental part of the study aiming to evaluate student progress, the questionnaire on prior knowledge was administered at the beginning and at the end of the course as a pre and post-test. This questionnaire was prepared for the educators in charge of the course and its content was structured in three thematic groups: general concepts of digital audio, methods for the use of software interfaces, and protocols for the use of hardware. Both questionnaires were applied online but during class time. In addition, the questionnaire to assess the FL effect was administered during Week 12 of the course so that students could - after

a few weeks of experience - evaluate the activities used in this model. We used a Likert scale of 1 to 5 to measure the response to the set of questions (1 = not at all; 5 = entirely).

The structure of the class for Flipped Learning was planned on two levels: by semester and per lesson (Lee *et al.*, 2016). The design of materials for the semester considered the objectives of the course, the general topic of each lesson, the learning strategies, the design of activities, the orientation guide for the course, and the approach to evaluation. Each lesson incorporated an online component, the "pre-class," and an in-person component, i.e., "class." Planning at this level was based on each of the learning goals determined for each session within the syllabus while seeking integration between the two components; Table 1 shows the learning themes of the course and its organization.

Table 1. Organization of topics for the semester by class.

Week number	Topic
1 - 3	Interface operation
4 - 5	Software tools
6 - 7	Development of the practical project
8	Midterm examination
9 - 12	Software tools
13 - 15	Development of the final project
16	Final examination

Based on Lee *et al.* (2016), the pre-class materials were developed in three stages, respectively in stage 1 creating the materials/drafting the script, stage 2 recording, and stage 3 video editing and technical aspects. After creating the scripts, the team produced videos in two formats. The first involved tutorial screenshots and an audio explanation from the professor. The second format was recorded using two cameras, one for the professor explaining the content of the pre-class and one for screenshots on the hardware and software use. Regarding the technical characteristics of the videos, the content was established according to each module and subject. The time duration of each video was limited to eight minutes, considering the recommendation of a maximum duration of 20 minutes (Mason, Shuman, & Cook, 2013; Smith & McDonald, 2013; Goodwin & Miller, 2013). Speed control and the different video resolutions could be used through YouTube (Bush, 2013). Any sound that could cause distractions was removed during editing to improve the listening experience (Mason *et al.*, 2013; Smith & McDonald 2013).

The project team choose Moodle as the course management system (CMS) because of its features and the needs and policies of the University of Cuenca (Universidad de Cuenca) (GNU, General Public License, and Open Source). The pre-class and class organization is listed in Table 2. The pre-class was organized into two sections: materials and evaluation. The materials were the

Table 2. Pre-class and class organization.

Pre-class	Class
1. Material: video	1. Introduction: a review of online materials
2. Evaluation: Questionnaire/forum	2. Main activity
3. Extra resources: bibliography or relevant articles	2.1. Student activity: practical application of knowledge
	2.2. Professor activity: active guidance and provision of feedback to the students
	3. Programming: review and guidance for upcoming activities

videos specifically produced for the course and other resources, such as relevant websites and readings recommended for each lesson. The corresponding assessment was based on three types of online activity: forums, questionnaires, and assignments that included uploading files to the course platform. In turn, each class consisted of three parts, respectively: the synthesis of online materials, the main activity, and instructions regarding the next pre-class assignments. The main activity promoted working on the higher levels of Bloom's taxonomy and focused on composing, playing, and recording a song using the software tools taught in class. This activity involved two essential strategies to promote active learning: assignments based on problems and projects. Each class presented the challenge of completing a part or element of a song, which the students had to resolve using the knowledge acquired in their pre-class work. The goal of the course was to plan, design, and produce an original song.

Additionally, feedback strategies were established through individual tutoring to clarify questions for each project. Given the individual nature of working with the software, we also promoted activities that encouraged the students to complete exercises and resolve difficulties in pairs.

3. RESULTS

The students in the course were predominantly male and 20 years old on average. They were consulted about the use of Internet, social applications, and technological tools. 85.7% of the students indicated that they used cell phone and laptop; 28.6% indicated using these devices between 3-6 hours weekly and 71.4% over 7 hours weekly. Concerning the use of social media, all students used the most popular social networks, such as Facebook and Twitter, as well as chat platforms, email, and tools to share video and audio. SoundCloud was the online platform students used to share audio. That means that the students possessed or could access the devices and resources for completing the pre-class tasks and that they were knowledgeable how to use them. For students unable to access the Internet at home, laboratory hours were

extended by two hours per week. One student reported a degree of visual impairment and was therefore assigned a computer with a screen-magnification capability.

The questionnaire to assess the FL effect (Table 3) yielded an overall favorable judgment of 83.4%; students indicated that the professor clearly explained the objectives and the learning method to be used at the beginning of the course. Concerning the use of tools, 91.6% of students affirmed that the professor used different technological media in the master class while they took notes. Regarding the development of the course, 81.7% reported that the professor encouraged questions and group discussion. A less favorable result (50%) concerns the incentive to work in group to create research projects or solve problems. This result could be explained by the nature of the assignment, which was focused on the individual use of a computer to learn specific software tools. Student satisfaction is important to create a positive learning environment and positive performance (Kim *et al.*, 2017). Results indicate that 71.4% of the participating students were satisfied with the application of the FL model in both, the pre-class and class.

Focus group discussions about the FL experience revealed that most students (58.3%) invested 120 minutes or more to activities outside the classroom, while 41.7% invested between 30 and 60 minutes. It is important to highlight that the maximum amount of time allotted for autonomous work in the curriculum was two hours. Only 8.3% of students invested up to four hours. Given the nature of the course, classes were developed by two professors. One was in charge of the detailed knowledge regarding the software tools and interface. The other was in charge of the application of that knowledge to create music. The students positively evaluated the professors' participation because their focus areas were complementary. Similarly, the students referred positively to the personal treatment and the approach to problem-solving in the FL model. In addition, they mentioned the importance of constant communication with the professors through the virtual platform and during class sessions.

At the beginning of the semester, an average score of 13.8/26 was obtained, while at the end of the course this score rose to 20.7/26. The differences between the pre- and post-test scores for the course material were significant different, obtaining a Student's t-test result of

Table 3. Questionnaire on the impact of FL, % (Likert scale: 1 = not at all; 5 = entirely).

Item	Likert scale				
	1	2	3	4	5
The professor clearly explains the goals and objectives during the first meeting.	0	8.3	8.3	16.7	66.7
The professor teaches the master class without the use of technology, and the student's activity is to take notes.	0	33.3	16.7	16.7	33.3
The professor teaches the master class using different technologies, and the student's activity is to take notes.	8.3	0	0	8.3	83.3
The professor provides course notes and the teaching material to be reviewed before class.	0	8.3	0	41.7	50
The professor encourages students in the classroom to actively participate through questions and discussion groups.	8.3	0	0	25.0	66.7
The professor encourages working in groups to create research projects or to solve problems.	25	16.7	8.3	16.7	33.3
The professor stimulates individual work to create case studies, portfolios, and literature analysis.	0	0	16.7	25	58.3

$p=0.007$ (<0.05). The questions that presented difficulties for the students are related to the protocols for using the hardware, such as the connection to the sound card or the MIDI controller. Regarding the use of the software interface, difficulties came forward in the advanced use of specific tools, primarily audio effects and filters.

4. DISCUSSION

The study highlights the benefits and challenges in the application of the FL model in a music technology course, whose main objective was to teach the basic knowledge students require to use digital audio workstation tools to create linear format projects and live performances. In general, the application of the model enhanced active learning in the application of these tools to create music. The students positively evaluated the design, resources, and materials used during the course. Although similar projects did not achieve improved student performance (Fidalgo-Blanco, Martínez-Núñez, Borrás-Gene, & Sánchez-Medina, 2017; Mennella, 2016), we noted a significant improvement in the response to the knowledge questionnaires between the pre- and post-test. However, in future studies, it will be necessary to expand the sample and use other evaluation instruments, such as grades for each assignment and testing throughout the course. Objectively, the improvement we noted could be due to the nature of the subject and the students' predisposition to use technological tools. According to Kim *et al.* (2015), a positive attitude regarding technology results in an improved self-efficacy in students.

Regarding the face-to-face sessions, it was observed that the number of group activities required by the FL model to foster active learning was insufficient. This failing was due to the nature of the subject, which required the individual use of software and hardware, such as headphones. Therefore, we recommend including additional activities that involve working in pairs, such as partially developing the project through discussion and consensus or group review activities.

Among the challenges that emerged, we can mention the number of resources required to prepare the pre-class. This project had four professors and a research assistant. Two professors developed the materials at the macro and micro levels, managed the virtual classroom, and taught the class while the other two professors and the research assistant were responsible for producing the teaching and audiovisual materials. Thus, the instructors were required to possess basic knowledge of developing audiovisual materials and the use of production and postproduction tools. In addition, a considerable amount of time was required to develop the entire course, particularly during the initial stage. A gradual implementation of the FL model represents a possible means to reduce the time required to develop the pre-class materials. Such an approach would also facilitate designing the course based on students' reactions (Murphy, Chang, & Suaray, 2016). Furthermore, if the educational institution could provide the necessary technical support, the professors would have more time to develop their own materials with the necessary quality. In this regard, a guide for the implementation of the FL model was developed as part of this project. The guide includes methodological

recommendations for tools that are easy to acquire and use, such as mobile devices.

Finally, given the lack of studies on the application of the FL model in art courses, this study represents a reference for the application and assessment of the model in such fields. Despite the difficulty of creating the materials for the pre-class segments, the promotion of the FL model among educators is relevant because it creates the opportunity to enhance active learning.

ACKNOWLEDGEMENT

The research was financially supported by the Dirección de Investigación de la Universidad de Cuenca (DIUC). The authors like to thank Daniel López for his collaboration and expertise in implementing the class.

REFERENCES

- Bush, M. D. (2013). Educational technology points of inflection: what MOOCs, flipped classrooms, and OLPC teach us about individualization of learning. *Educational Technology*, 53(6), 60-63.
- Fidalgo-Blanco, A., Martínez-Núñez, M., Borrás-Gene, O., & Sánchez-Medina, J. J. (2017). Micro flip teaching - An innovative model to promote the active involvement of students. *Computers in Human Behavior*, 72, 713-723. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2016.07.060>
- Flipped Learning Network. Definition of Flipped Learning. (n.d.). Retrieved from <https://flippedlearning.org/definition-of-flipped-learning/>
- Garrison, D., & Kanuka, H. (2004). Blended learning: Uncovering its transformative potential in higher education. *The Internet and Higher Education*, 7(2), 95-105. <https://doi.org/10.1016/j.iheduc.2004.02.001>
- Goodwin, B., & Miller, K. (2013). Evidence on flipped classrooms is still coming in. *Educational Leadership*, 70(6), 78-80.
- Humante-Ramos, P., García-Peñalvo, F., & Conde-González, M. Á. (2016). Encuesta sobre el uso de Internet, servicios sociales y herramientas tecnológicas de los estudiantes de la carrera de ingeniería en sistemas y computación en la Facultad de Ingeniería de la UNACH [Survey on the use of Internet, social media, and technological tools of students in the computer engineering degree at the School of Engineering of the National University of Chimborazo -UNACH] [Data set]. Figshare. <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.3413869>
- Heeseung, C., Jeongeun, K., Kyung-Sook, B., Yeon-Hwan, P., Nam-Ju, L., & Chanhee, K. (2015). Applying the Flipped Learning Model to an English-Medium Nursing course. *Journal of Korean Academy of Nursing*, 45(6), 939-48. <https://doi.org/10.4040/jkan.2015.45.6.939>

- Hussey, H. D., Richmond, A. S., & Fleck, B. (2015). A primer for creating a flipped psychology course. *Psychology Learning & Teaching, 14*(2), 169-185. doi:10.1177/1475725715592830
- Hootsuite Media Inc. (n.d.). Digital in 2018 in Southern America. Retrieved from: <https://hootsuite.com/es/pages/digital-in-2018>
- Kim, H. S., Kim, M. Y., Cho, M., & Jang, S. J. (2017). Effectiveness of applying flipped learning to clinical nursing practicums for nursing students in Korea: A randomized controlled trial. *International Journal of Nursing Practice, 23*(5), 1-10. <https://doi.org/10.1111/ijn.12574>
- Kim, J. A., Heo, H. J., & Lee, H. (2015). Effectiveness of flipped learning in Project Management Class. *International Journal of Software Engineering and Its Applications, 9*(2), 41-46.
- Lee, J., Lim, C., & Kim, H. (2016). Development of an instructional design model for flipped learning in higher education. *Educational Technology Research and Development, 65*(2), 427-453. <https://doi.org/10.1007/s11423-016-9502-1>
- Marín-Juarros, V. (2014). Modelos de rediseño de acciones formativas en el entorno virtual de enseñanza-aprendizaje [Redesign models for training activities in online teaching and learning]. Tesis doctoral, Departament de Pedagogia Aplicada i psicologia de l'Educació, Universitat de les Illes Balears, 549 pp. Available at https://www.researchgate.net/publication/273452427_Modelos_de_rediseño_de_acciones_formativas_en_el_entorno_virtual_de_enseñanza-aprendizaje_Diseño_y_experimentación_de_estrategias_metodológicas_de_integración_de_los_entornos_institucionales_y_abierto
- Mason, G. S., Shuman, T. R., & Cook, K. E. (2013). Comparing the Effectiveness of an Inverted Classroom to a Traditional Classroom in an Upper-Division Engineering Course. *IEEE Transactions on Education, 56*(4), 430-435. <https://doi.org/10.1109/TE.2013.2249066>
- Mennella, T. A. (2016). Comparing the efficacy of flipped vs. alternative active learning in a College Genetics Course. *The American Biology Teacher, 78*(6), 471-479. <https://doi.org/10.1525/abt.2016.78.6.471>
- Murphy, J., Chang, J.-M., & Suaray, K. (2016). Student performance and attitudes in a collaborative and flipped linear algebra course. *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology, 47*(5), 653-673. <https://doi.org/10.1080/0020739X.2015.1102979>
- Noor-Akmal, S., I. (2016). Effectiveness of team-based learning in teaching medical genetics to medical undergraduates. *Malaysian Journal of Medical Sciences 23*(2), 73-77.
- O'Connor, E. E., Fried, J., McNulty, N., Shah, P., Hogg, J. P., ..., et al. (2016). Flipping radiology education right side up. *Academic Radiology, 23*(7), 810-22. <http://dx.doi.org/10.1016/j.acra.2016.02.011>
- Oh, J., Kim, S., Kim, S., & Vasuki, R. (2017). Evaluation of the effects of flipped learning of a nursing informatics course. *The Journal of Nursing Education, 56*(8), 477-83. <https://doi.org/10.3928/01484834-20170712-06>
- Pence, P. L. (2016). Flipping a first-year medical-surgical associate degree registered nursing course: A 2-year pilot study. *Teaching and Learning in Nursing, 11*(2), 52-57. <https://doi.org/10.1016/j.teln.2015.12.006>
- Sams, A., & Bergmann, J. (2013). Flip your students' learning. *Educational Leadership, 70*(6), 16-20.
- Smith, C. M., & McDonald, K. (2013). The flipped classroom for professional development: Part II. Making podcasts and videos. *The Journal of Continuing Education in Nursing, 44*(11), 486-487. <https://doi.org/10.3928/00220124-20131025-93>



Research paper / Artículo científico

The (mis)match between sexuality education programs in school and the expectations of Ecuadorian adolescents

El (des)encuentro entre los programas de educación sexual en los Colegios y las expectativas de los adolescentes ecuatorianos

Jessica Castillo-Núñez¹ , Ilse Derluyn² , Martin Valcke³ 

¹ Faculty of Philosophy, Letters and Educational Sciences, University of Cuenca, Cuenca Ecuador.

² Department of Social Work and Social Pedagogy & Centre for the Social Study of Migration and Refugees, Ghent University, Ghent, Belgium.

³ Department of Educational Studies, Ghent University, Ghent, Belgium.

Autor para correspondencia: jessica.castillo@ucuenca.edu.ec

Fecha de recepción: 18 de junio de 2019 - Fecha de aceptación: 23 de octubre de 2019

ABSTRACT

Considering the relevance of adolescents' voices in the design and implementation of sexuality education programs, the current study explores adolescents' perceptions of ongoing sexuality education they are receiving at school (SSE) and perceptions about their teachers' professionalism towards this topic (SEPT) in Ecuador. A multi-stage stratified cluster sampling procedure was followed to involve 702 adolescents between 11 and 19 years old in the study. Participants' perceptions of SSE and SEPT were assessed based on a Likert scale survey encompassing 15 closed and 4 open questions. Responses were analyzed in relation to their gender, parental migration status, age and geographical location. Adolescents expressed high satisfaction with sexuality education received at school (SSE) and were mildly satisfied about their teachers' competences regarding sexuality education (SEPT). Multinomial logistic regression analyses revealed slight differences in relation to the socio-demographic variables. Answers to open-ended questions reflected a strong influence of a biological approach on sexuality education. Given the satisfaction levels in SSE and SEPT, and the contrasts between the biological approach and the overarching Ecuadorian framework, the results have clear implications for the design and implementation of future sexuality education programs and training teacher proposals.

Keywords: Sexuality education, teachers' professionalism, adolescents' satisfaction, Ecuador.

RESUMEN

Considerando la relevancia de las voces de los adolescentes en el diseño e implementación de los programas de educación en sexualidad, el estudio actual explora las percepciones de los adolescentes sobre la educación sexual actual que reciben en la escuela (SSE) y las percepciones sobre el profesionalismo de sus docentes con respecto a este tema (SEPT) en Ecuador. Mediante un procedimiento de muestreo por grupos estratificados en varias etapas se involucró a 702 adolescentes entre 11 y 19 años de edad en el estudio. Las percepciones de los participantes de SSE y SEPT se evaluaron en base a una encuesta tipo Likert con 15 preguntas cerradas y 4 preguntas abiertas. Las respuestas se analizaron en relación con su género, estado migratorio de los padres, edad y ubicación geográfica. Los adolescentes expresaron un nivel alto de satisfacción con la educación sexual recibida en la escuela (SSE) y un nivel medio de satisfacción con las competencias de sus maestros con respecto a la educación sexual (SEPT). Los análisis de regresión logística multinomial revelaron ligeras diferencias en relación con las variables sociodemográficas. Las respuestas a las preguntas abiertas reflejaron la fuerte influencia de un enfoque biológico en la educación en sexualidad. Dados los niveles de satisfacción en SSE y SEPT, y los contrastes entre el enfoque biológico y el marco ecuatoriano general, los resultados tienen implicaciones claras para el diseño y la implementación de futuros programas de educación en sexualidad y la capacitación de propuestas de maestros.

Palabras clave: Educación en sexualidad, profesionalismo de docentes, satisfacción de los adolescentes, Ecuador.



1. INTRODUCTION

In most countries, the school system is considered a formal setting for the implementation of sexuality education in adolescents, as schools represent a safe environment, and large groups of adolescents from diverse backgrounds can be targeted (Bay-Cheng, 2003; Thomas & Aggleton, 2016). Moreover, the role of the school in providing sexuality education is supported by parents, as well as by the majority of adolescents (Walters & Hayes, 2007). Nevertheless, sexuality education in a school context is challenging. In the present article, we examined how the design of sexuality education programs is aligned with students' expectations and probe students' perceptions about their teachers' expertise in this field.

The design of sexuality education programs

The relevance of providing sexuality education within the school context is inexorably intertwined with the attention paid to its design and implementation process. Discussions about an appropriate design for sexuality education in schools - in terms of content, time, methodology, evaluation, and expected outcomes - reflect a variety of challenges. By definition is the design of sexuality education programs in schools linked to cultural values (Walters & Hayes, 2007), as well as to myths and stereotypes about sexuality and sexuality education (Das, 2014). Discussions reiterate concerns, pressures and censures about what sexuality education should (not) imply and how it should be included into the school curriculum (Bay-Cheng, 2003; Walters & Hayes, 2007; Das, 2014).

Debates about sexuality education in schools mirror two main controversies. First, recent approaches of sexuality education have shifted from a focus on isolated and concrete aspects of sexuality (e.g., contraceptives, STDs - sexually transmitted diseases, AIDS - acquired immune deficiency syndrome, etc.), strongly based on health interventions (Darré *et al.*, 2015), to a holistic view focusing on gender and sexuality rights (IPPF, 2009) and promoting a "whole school" approach (Thomas & Aggleton, 2016). However, despite these changes, scholars have concluded that most current sexuality education programs in schools still concentrate on technical, physical and risk aspects related to sex (Giami *et al.*, 2006; Kirby, Obasi, & Laris, 2006; Darré *et al.*, 2015). Second, there are deliberations about how sexuality education should be nested within the school curriculum: (a) as a stand-alone subject within the curriculum, often offered as elective course (Walters & Hayes, 2007) and taught by "experts"; (b) integrated within an existing mainstream subject (such as biology); or (c) as a transversal axis within the curriculum, meaning that sexuality education should be embedded in every subject. Consequently, schoolteachers should be able to address it within their subjects (Martin, 2007) even in every space or moment of the school, aiming at a "whole school" approach; (d) a combination of these diverse modalities. Such a combination could be a transversal axis design but could also result in defining a specific sexuality education course in the curriculum (Thomas & Aggleton, 2016).

While it has been argued that the sensitive nature of sexuality education influences the approach of program design, a standardized proposal is still not available. There

seems to exist a consensus about the inclusion of the following components: (a) cognitive components building on a scientific-based knowledge; (b) affective components introducing values attitudes and beliefs; and (c) behavioral components introducing the development of skills (Forrest *et al.*, 2004; Allen, 2005; Giami *et al.*, 2006; Allen, 2008; Helmich, 2009; Barr *et al.*, 2014; Schmidt, Wandersman, & Hills, 2015; Thomas & Aggleton, 2016). Still, knowledge, behaviors and attitudes could be fostered through different approaches. From a comprehensive perspective approach, these three different components should be addressed via topics as gender, sexual health, sexual rights, violence, diversity and relationships (IPPF, 2009; Thomas & Aggleton, 2016). While these different components inform the design of sexuality education programs, it is still necessary to consider the particular context with which these programs interact, for example through local values, religion and geographical differences (Walters & Hayes, 2007; Hunt & Ott, 2014). For instance, contexts may differ in their views related to patterns of virginity or heterosexuality (UNESCO, 2015) or rural communities may differ from urban contexts in sexual practices, knowledge and beliefs (Tenorio Ambrossi, 2004). Nevertheless, although sexuality education from a comprehensive approach should be adapted to local contexts; there are topics that are essential in order to maintain the programs' quality and to meet international standards (UNESCO, 2015).

Being context-sensitive also requires that sexuality education programs are aligned with adolescents' specific circumstances and unique characteristics (DiCenso, Guyatt, Willan, & Griffith, 2002; Helmich, 2009; MacDonald *et al.*, 2011; Schmidt *et al.*, 2015; Simovska & Kane, 2015; Thomas & Aggleton, 2016). Literature points at the need to teach sexuality education in a developmentally appropriate way, acknowledging that adolescents' development may differ in specific cultures and contexts (World Health Organization, 2010; Muhanguzi & Ninsiima, 2011; Das, 2014; Thomas & Aggleton, 2016).

Teachers' point of view on sexuality education

Key to ensure school-based sexuality education programs succeeding in encompassing adolescents' needs and interests is the professional role of teachers. While well-prepared teachers are key to effective sexuality education (Barr *et al.*, 2014), research concludes that a majority of teachers assigned to teach sexuality education have received little or no formal related training and do not feel empowered for this responsibility (Cohen, Byers, Sears, & Weaver, 2004; Walters & Hayes, 2007; Das, 2014). At the same time, research shows that adolescents are aware of this weakness in teacher competences (Allen, 2005), and adolescents' perceptions of their teachers' professional preparation to (not) address sexuality education influence their motivation and engagement towards the subject (MacDonald *et al.*, 2011; Adams Tucker *et al.*, 2016). One reason is that teaching sexuality education often evokes feelings of fear, embarrassment, anxiety, confusion and discomfort in teachers (Milton *et al.*, 2001; Kehily, 2002), as well as preoccupations about being given a very different educational role (e.g., counsellor) (Helleve *et al.*, 2011) and the fact they might no longer solely be seen as a 'teacher' (Oulton, Day, Dillon, & Grace, 2004). Moreover, teachers' own values influence their involvement in sexuality education programs, since they

(implicitly or explicitly) integrate their intimacy, values and beliefs into a subject that is labelled as ‘sensitive and controversial’ (Huberman, Grounauer, Marti, & Neufeld, 1993; Helleve *et al.*, 2011). Last, teachers often feel ill-equipped to engage in a sexuality education program which builds onto paradigms they do not believe in or understand (Walters & Hayes, 2007; Preston, 2013).

Adolescents’ voices about sexuality education

Adolescents’ voices are hardly heard in the design of sexuality education programs (DeMaria *et al.*, 2009). While an understanding of the target group is crucial in view of adolescents’ engagement in the curriculum (Allen, 2008), their voices remain largely absent in decisions about the sexuality education curriculum in the formal educational system (Bay-Cheng, 2003; MacDonald *et al.*, 2011; Thomas & Aggleton, 2016), since in most cases, adults are those who design and decide on sexuality education programs (Santelli *et al.*, 2006; Giami *et al.*, 2006; Hirst, 2008).

The same gap is noted in the research literature. Available research focuses mainly on outcomes, particularly in adolescents’ behavior after sexuality education (Suellentrop, 2011), with a focus mainly on the use of contraceptives or abstinence approaches (Kirby, 2002; Wilson, Goodson, Pruitt, Buhi, & Davis-Gunnels, 2005; Rijdsdijk *et al.*, 2011; Haberland & Rogow, 2015) and on the obstacles when implementing sexuality education in schools (Eisenberg *et al.*, 2013; Simovska & Kane, 2015).

Yet, very little is known about the fit between sexuality education provided and adolescents’ expectations. Therefore, the current study aimed at examining the perspectives of adolescents’ students about the sexuality education implemented in their school context. Two research questions were put forward: (1) To what extent are adolescents satisfied with the sexuality education they receive in schools? and (2) To what extent do adolescents consider their teachers performing well when addressing sexuality education? To answer these questions, we measured, firstly, adolescents’ satisfaction with the sexuality education they have been receiving (SSE-Satisfaction Sexuality Education), and, secondly, adolescents’ perceptions about the Sexuality Educational Teachers’ Professionalism (SEPT-Sexuality Education Professionalism of Teachers).

Since sexuality is a complex human dimension, its conceptualization differs according to contexts, groups and even individuals. To be sensitive to these differences, the present study also tackled background variables such as gender, age, geographical location and the situation of adolescents with emigrated parents. Participants’ geographical location calls for particular attention, given the context of the study (Ecuador), where we note, as in other Latin American contexts, the emergence of ‘new ruralities’ and its influence on adolescents’ sexuality (Pascual, 2013). The variable ‘adolescents with emigrated parents’ refers to a growing group of Ecuadorian children and adolescents whose parents have emigrated while they themselves stay in the home country (Jokhan, 2008).

2. METHODS

2.1. Study context

The study was conducted in Ecuador, a country with one of the highest rates of teenage pregnancy in Latin-America (Castro & Salinas, 2017). In Ecuador, the recognition of adolescents’ rights on sexuality education is embedded in the constitution, with schools as major stakeholders through the implementation of the Comprehensive Sexuality Education (CSE) framework (Educativo, 2012). CSE, that is incorporated as a compulsory part of mainstream curriculum, goes beyond a narrow focus on abstinence and contraceptives, and incorporates gender rights, is explicitly secular in nature, and considers sexuality as inherent to human beings. Moreover, CSE is designed in a way that it guarantees the development of inter-related knowledge, skills and attitudes, at all educational levels, and both in public and private schools. To reach this goal, a strategy was put forward by the Ministry of Education that puts CSE as a transversal axis within the school curriculum. This suggests that every teacher, at any educational level and responsible for any subject, should be able to address sexuality education in his/her classroom.

2.2. Participants

Participants in the present study are adolescents attending public secondary schools from urban and rural areas in cantons of Azuay province in Ecuador. A multi-stage stratified cluster sampling procedure was followed. In the sampling procedure, we only included schools offering both upper basic educational (8th, 9th and 10th grade) and secondary education (1st, 2nd and 3rd).

In a first sampling step, on the basis of demographic information of the Azuay region, eight cantons (50% of all cantons) were selected with the highest rates of international emigration (INEC, 2010). Further, on the basis of the Azuay public schools’ database (Ministry of Education of Ecuador, 2012), 18 schools were randomly selected from these eight cantons:

- From five cantons: one urban and one rural high school (10 in total);
- From two rural cantons: one school from each canton (2 in total); and
- From the capital canton: two urban, two rural, and two urban-rural schools (6 in total).

In a second step, three clusters of classes were selected from each school:

- cluster 1: 8th-9th grade classes¹ (early adolescence);
- cluster 2: 10th grade classes and 1st year secondary education classes (middle adolescence); and
- cluster 3: 2nd and 3rd year secondary education classes (late adolescence).

Thirdly, each cluster was screened in collaboration with a teacher or psychologist. For each cluster, the class with the largest proportion of students with emigrated parents was selected. Fourthly, to ensure the gender balance and avoid stigmatization of adolescents with emigrated parents, we randomly selected eight girls and eight boys from the class with the largest proportion of students with emigrated

¹ Average ages: Basic education: 8th grade: 12 years old; 9th grade: 13 years; 10th grade: 14 years; secondary education: 1st grade: 15 years old; 2nd grade: 16 years; 3rd grade: 17 years.

parents. In this phase, the random selection focused on developing a subgroup of at least fifteen adolescents.

The final sample consisted of 780 adolescents between 11 and 19 years old. Considering the aim of the current study, we only included the data of those adolescents who reported in the survey they already received sexuality education during high school, bringing the final number of participants to 702.

The final sample reflects the demographics characteristics of the population in Azuay in terms of gender, age and geographical location (INEC, 2010). Yet, regarding the emigration status of the parents, we purposively included a larger proportion (see Table 1).

Table 1. Socio-demographic characteristics of the study sample.

Respondent characteristics		n	%
Gender	Male	354	50.4
	Female	348	49.6
Parental Migration	None	338	48.1
	One parent	121	17.2
	Two parents	243	34.6
Age*	Early	165	23.5
	Middle	360	51.3
	Late	177	25.2
Geographical Location	Urban	350	49.9
	Rural	266	37.9
	Urban-Rural**	86	12.3

* Early adolescence: 11-14 years; middle adolescence: 15-16; late adolescence: 17-19 years old.

** Adolescents from both rural and urban areas attended this school.

2.3. Procedure

Authorization for this study was obtained from the Ecuadorian Ministry of Education, and ethical clearance from the Ethical Committee of the Faculty of Psychology and Educational Sciences of Ghent University. Once authorities of the schools verified the authorization letter of the local authorities and the Ministry of Education, all selected schools accepted to participate in the study. Trained researchers administrated the survey in each school.

Survey administration started by informing adolescents about the study aims. The study conditions were explained (voluntary participation, the right to withdraw from participation at any time, confidentiality and anonymity), and contact information of the researcher was given in case of further information or assistance needed. Next, adolescents were invited to give their informed consent by signing a form. Two schools requested to obtain first individual parents'/guardians' authorization for underage adolescents prior to the survey administration. From these schools, 30 and 31 adolescents respectively (of the 45 in each high school) received parental consent and participated. In the other schools, none of the invited adolescents refused to participate.

After obtaining informed consent, adolescents completed the survey individually, in a classroom and in the presence of their classroom mates and the researcher. Instrument administration took on average twenty minutes. After completion, participants received a free snack and a drink.

2.4. Research instruments

To conduct the study, a survey consisting of two scales was designed (Annex 1). One scale evaluated the level of satisfaction of adolescents as to the sexuality education they received at school (SSE). Building on the general guidelines for curriculum design from the Ministry of Education of Ecuador (Ministerio Education, 2012), 4 items and 2 open-ended questions were presented to the adolescents (e.g., items: during sexuality education classes, topics being addressed, were interesting for me; during the class, I felt comfortable when sexuality education topics were addressed; open-ended questions: in which courses have you received sexuality education; what did you like the most about the sexuality education classes you participated in?). Adolescents rated each scale item on a 6-point Likert scale, expressing their agreement (1 'strongly disagree' – 6 'totally agree'). Cronbach's α reflected an acceptable to good level of internal consistence ($\alpha=0.73$).

The second scale assessed adolescents' perceptions of the Sexuality Education Professionalism of Teachers (SEPT). The scale consisted of 6 items and was developed on the base of Bandura (2006) and WHO (2010) (e.g., my teachers could motivate us to feel comfortable as we addressed issues relating to sexuality education; my teachers could improve our knowledge about sexuality). Adolescents were also asked to rate their level of agreement with each scale item (1 'strongly disagree' - 6 'totally agree'). Cronbach's alpha reflects a good reliability ($\alpha=0.79$).

Additionally, background questions were presented to get information about adolescents' background characteristics (gender, age, geographical location and migration status of the parents).

A pilot version of the survey was reviewed by two experts, resulting in three scale items being revised. Next, this first pilot version was tested, involving 72 adolescent students from three different public high schools (not included in the current sample) to check completeness, comprehensibility and feasibility of the instrument. After pilot testing, two items were reformulated, three items were enriched with a clarification and two open questions were incorporated. The structure and the format of the questionnaire were qualified as adequate.

2.5. Data analysis

On the base of a descriptive data analysis, a first picture was developed of SSE and SEPT, focusing on potential differences related to gender, age, geographical location and parents' migration status. Since the data reflected overall high scores, the original Likert scale from 1-6 was re-coded into three new, discrete variables: 1, 2 and 3. Collapsing scale levels is often applied in research related to sensitive topics, when respondents select a smaller range of values within a broader scale (see e.g., Matthias, Lubben, Atchison, & Schweitzer, 1997). We applied the Linacre (2002) guidelines to collapse response values categories. The recoding is as follows: the value 1 indicates that adolescents agree to a lesser extent, while 3 indicates that the respondents totally agree with a statement. Frequencies and percentages were calculated based on the re-categorized scale. In addition, the answers to the two open questions included in the SSE scale were clustered into categories by grouping responses belonging

Table 2. Descriptive analysis of the key research variables in relation to the participants' background variables (N=702).

Respondent characteristics		Value ^a for SSE ^c			Value ^a for SEPT ^d		
		1	2	3	1	2	3
Total group		107(15.2) ^b	247(35.2)	348(49.6)	213(30.3)	255(36.3)	234(33.3)
Gender	Male	65(17.8)	128(36.1)	161(45.4)	122(34.4)	125(35.3)	107(30.2)
	Female	42(12.0)	119(34.1)	187(53.7)	91(26.1)	130(37.3)	127(35.9)
Parents migrated	None	46(13.6)	113(34.9)	179(52.9)	106(31.3)	125(36.9)	107(31.6)
	One parent	25(20.6)	35(28.9)	61(50.4)	32(26.4)	48(39.6)	41(33.8)
	Two parents	36(14.8)	99(40.7)	108(44.4)	75(30.8)	82(33.7)	86(35.4)
Age	Early	19(11.51)	63(38.1)	83(50.3)	54(32.7)	56(33.9)	55(33.3)
	Middle	55(15.2)	119(33.0)	186(51.6)	88(24.4)	135(37.5)	137(38.0)
	Late	33(18.6)	65(36.7)	79(44.6)	71(40.1)	64(36.1)	42(23.7)
Geographical location	Urban	66(18.8)	118(33.7)	166(47.4)	114(32.5)	121(34.5)	115(32.8)
	Rural	36(13.5)	104(39.9)	126(47.2)	84(31.5)	95(35.7)	87(32.7)
	Urban/Rural	5(5.81)	25(29.0)	56(61.1)	15(17.4)	39(45.3)	32(37.2)

^a 1=hardly agree; 2=mildly agree; 3=totally agree. ^b n (%). ^c School Sexuality Education. ^d Sexuality Education Professionalism of Teachers

to the same dimension or topic. Next, a frequency analysis was carried out.

Thereafter, inferential statistics were applied to explore differences in adolescents' perceptions (SSE and SEPT) considering their background variables. A multinomial logistic regression was carried out to study possible associations between the predictor variables and the outcome variables in a regression model. In the regression model, main effects of gender, parental migration status, age and geographical location were entered as predictors for the dependent variable SSE and SEPT scores. Levene's test results pointed out assumptions as to homogeneity of variances were consistently met. A *p* value of .05 was put forward to interpret the results. Statistical analyses were performed using SPSS 19.0.

3. RESULTS

The socio-demographic characteristics of the study sample are presented in Table 1. Descriptive analyses showed that the largest proportion of respondents were highly satisfied with the sexuality education they received at school (SSE) (see Table 2).

Student background variables reflected some differences in SSE, especially for the urban rural group (variable geographical location) and in the female group (variable gender) who mainly expressed total agreement. In relation to the variable SEPT, a large proportion of adolescent expressed mild agreement with their teachers' competences regarding sexuality education (SEPT), but with minor differences in comparison to the proportion to less agreement and total agreement. Student background variables seemed to reflect slight differences in SEPT, especially in the late adolescence group (variable age), as they mostly expressed disagreement.

Responses to the open-ended questions are presented in Tables 3 and 4. Results showed that adolescents strongly indicated biological sciences as the main school subject through which sexuality education is provided. Participants also showed that they mostly liked topics related to sexual health; the topic they liked less was pleasure.

Table 3. Responses to open-ended question: In which school subject have you received sexuality education? (N=702).

Area	n	%
Exacts	11	1.6
Biological Sciences	442	63
Social Sciences	100	14.2
Arts	3	0.4
Sports	2	0.3
Instrumentals	9	1.3
Others	52	7.4
More than 1 option	83	11.8

Table 4. Responses to open-ended question: What did you like the most about the sexuality education you had? (N=702).

Aspects	n	%
Topic of Gender	22	3.1
Topic Sexual Health	447	63.7
Topic Sexual Rights	31	4.4
Topic Pleasure	11	1.6
Topic Violence	15	2.1
Topic Diversity	9	1.3
Topic Romantic Relationships	22	3.1
Methodology*	83	11.8
Teacher Attitude**	39	5.6
Others	23	3.3

* Strategies, activities teachers use while teaching sexuality education.

** Confident performance perceived, involvement in the sexuality education classes.

Table 5. Likelihood Ratio Tests linking to background variables (N=702).

Respondent characteristics	SSE	SEPT
Gender	7.79*	7.91*
Parental migration status	5.31	7.61
Age	5.09	20.79***
Geographical location	13.38*	13.59**

* *p*<.05, ** *p*<.01, *** *p*<.001, based on Chi-square value.

Table 6. Odds Ratio from multinomial logistic regression for adolescents' perceptions of SSE and SEPT associated with their Sexuality Education satisfaction (N=702).

Respondent characteristics		SSE				SEPT			
		b(SE) ^b	Odds ratio	Lower	Upper	b(SE)	Odds ratio	Lower	Upper
Mildly agree (2) vs less agree (1) ^a									
Gender ^c	Female	0.32(0.24)	1.37	0.85	2.2	0.40 (0.19)	1.50*	1.02	2.18
Parents migrated ^d	None	-0.17(0.27)	0.83	0.49	1.42	-0.12(0.21)	0.88	0.57	1.36
	One Parent	-0.46(0.33)	0.62	0.32	1.22	0.52(0.29)	1.68	0.95	2.97
Age ^e	Early	0.44(0.34)	1.55	0.79	3.05	0.13(0.26)	1.14	0.68	1.91
	Middle	0.07(0.27)	1.07	0.62	1.83	0.61(0.22)	1.85**	1.19	2.88
G. Location ^f	Urban	-0.97(0.53)	0.37	0.13	1.08	-1.15(0.35)	0.31**	0.15	0.62
	Rural	-0.55(0.54)	0.57	0.19	1.65	-0.99(0.35)	0.36**	0.18	0.74
Total agree (3) vs less agree (1)									
Gender	Female	0.60(0.23)	1.83**	1.16	2.89	0.53(0.19)	1.7	1.15	2.5
Parents migrated	None	0.09(0.26)	1.1	0.65	1.85	-0.29(0.22)	0.74	0.48	1.16
	One Parent	0.97(0.32)	1.1	0.58	2.06	0.38(0.29)	1.47	0.82	2.64
Age	Early	0.55(0.33)	1.74	0.9	3.36	0.52(0.27)	1.69	0.98	2.92
	Middle	0.38(0.26)	1.46	0.87	2.45	1.04(0.24)	2.84***	1.76	4.58
G. Location	Urban	-1.46(0.51)	0.23**	0.08	0.62	-1.07(0.36)	0.34**	0.16	0.69
	Rural	-1.14(0.51)	0.31*	0.11	0.88	-0.96(0.36)	0.38	0.18	0.78

* p<.05, ** p<.01, *** p<.001

^a Reference category = First value; ^b Beta value: regression coefficients of the model variables, and Standard error; ^c Reference: Male;^d Reference: Two Parents; ^e Reference: Late; ^f Reference: Urban-Rural.

Information of the model fitting is presented in Table 5. The likelihood ratio results show that gender and geographical location of schools were significantly associated with SSE and SEPT, and age was significantly associated with SEPT, therefore the null hypothesis is rejected with a probability of 5%. The χ^2 is 34,264 ($df=14$) for SSE, and 41,904 ($df=14$) for SEPT. Regarding the goodness of fit results show that the significance of the model is greater than 0.05 for SSE ($p=0.556$) and SEPT ($p=0.113$), which means that the model is suitable for the adjustment of the data.

Concerning adolescents' satisfaction with the sexuality education received (SSE), two background variables were independently and significantly associated (Table 6): gender and geographical location. Female adolescents were 1.83 times more satisfied with the sexuality education they received compared to males; adolescents from urban and rural areas were 0.23 and 0.32 times respectively less satisfied compared to those from urban-rural areas. No associations were found with adolescents' age and migrated parents for SSE.

As to adolescents' perceptions of their teachers' professionalism (SEPT), three background variables were significantly associated: gender, age and geographical location. Female adolescents were 1.50 times more mildly agree with their teachers' competences on sexuality education compared to males. Participants belonging to middle adolescence were more likely to express satisfaction in 2.84 times in comparison with late adolescence group. Adolescents from urban areas were 0.34 times less satisfied compared to those from urban-rural areas. No associations were found with adolescents' parental migration status.

4. DISCUSSION

Building on Ecuadorian adolescents' perceptions, this study examined two key aspects in the field of sexuality education in schools: adolescents' satisfaction with sexuality education received in their school (SSE) and their views about the professionalism of their teachers delivering sexuality education (SEPT). The findings of this study reiterate the concern about the perspectives of the target group being disregarded in the design and implementation of sexuality education. In addition, the present research adds to the literature on the possible impact of specific background characteristics onto the studied variables.

Overall, the empirical findings revealed that adolescents are rather highly satisfied with the sexuality education they receive in school, with the highest scores the actual sexuality education they received (SSE), and somehow lower scores regarding the professionalism of their teachers (SEPT).

The rather high scores are in contrast with most literature where students generally express dissatisfaction with the received sexuality education (Allred, 2007), mainly because of the too strong focus on the biological foundations of sexuality (Walters & Hayes, 2007) or the irrelevant, boring, repetitive, 'too scientific' and little realistic content (Allen, 2005; Muhanguzi & Ninsiima, 2011; Adams Tucker *et al.*, 2016) that is often 'too rushed' or 'held too late' (MacDonald *et al.*, 2011). Also the rather relatively high average scores in relation to teachers' professionalism (SEPT) are different from earlier studies that documented how students are not satisfied with the way their teachers handle sexuality education courses, and believe teachers need to improve their knowledge, skills, attitudes and teaching methods (Hilton, 2003; Allen, 2005; Muhanguzi & Ninsiima, 2011).

To explain these results, we might have to consider the Ecuadorian context. Since learner's engagement is

influenced by broader cultural dynamics (Adams Tucker *et al.*, 2016) and cultural values often become legitimized through institutional mechanisms resulting in practice codes for teachers and health professionals (Shoveller, 2004). We need to consider the specific socio-dynamics of the study context. Up to date, traditional religious values are still very important in Ecuador, which means it is acceptable to discuss topics related to anatomy, reproduction and STDs/AIDS, yet topics that go beyond this biological perspective are difficult to tackle. Hence, findings may suggest that Ecuadorian adolescents might 'require' less in terms of their sexuality education and are therefore sooner satisfied. This perspective becomes also clear in responses to the open-ended questions. They reiterate the strong focus on biological and health-related topics, that seems to impact the high average satisfaction scores of the participants.

This finding could lead to a biased sexuality education approach and result in a limited conception of human sexuality in adolescents, perpetuating existing problems related with adolescents' sexuality or even generating new inconveniences. The former is also in contradiction with the high teenage pregnancy rate in Ecuador.

Our findings about boys' dissatisfaction with sexuality education and teachers' demeanor are consistent with earlier research (Lupton & Tulloch, 1996; Hilton, 2003; Muhanguzi & Ninsiima, 2011), and can be explained by cultural patterns influencing boys' and girls' sexuality behavior whereby they are exposed to different experiences and information about sexuality (Allen, 2005). Measor (2004) states that boys learn more about sexuality from sources excluding adults (media, commercial sources or peers), which may create tensions with the actual sexuality education content and the way teachers handle this in schools. Also, boys are reported to be concerned about being ignorant or having inadequate sexual competences (Forrest *et al.*, 2004; Alldred, 2007), where mass media can answer these concerns in an anonymous way (Lupton & Tulloch, 1996).

Findings from the older age group's perceptions about their teachers' professionalism (SEPT) suggest a possible mismatch between the sexuality 'career' of adolescents and how they think adults (i.e., their teachers) perceive it. On average, Ecuadorian adolescents of this age group are often already involved in sexual activity (INEC, 2014), which may lead to more mature and complex needs (Allen, 2008). In contrast, older adolescents do not reflect higher scores as to their perceived needs related to sexuality education, which may indicate that they are especially sensitive when it comes to the person addressing sexuality education, rather than to its content.

Our assumption that adolescents with migrating parents would express higher needs regarding sexuality education was not confirmed. A possible explanation is that the physical separation from (a) parent(s) does not necessarily imply a total breakdown of the parental relationship (Olwig, 1999). Further, parental emigration is abundant in the Ecuadorian framework, especially in the region where we set up this research, which might have led to establishing strong social networks that are sufficiently robust to counter the potential vulnerability of these adolescents. Nevertheless, these adolescents still tend to be stigmatized as "children from migrating parents" - as opposed to children from the nuclear family (Pedone, 2006), which could evoke other needs related to sexuality education, but this requires further in-depth analysis.

The variable geographical location had a minimal impact on SSE, with higher needs expressed by adolescents living in urban-rural areas compared to those from urban and rural regions. Findings of other studies are rather inconsistent, with some studies reporting adolescent risky sexual behavior either in urban or rural areas (Folayan *et al.*, 2015), and others specifically indicate early sexual debut and childbearing among rural female adolescents (Doyle *et al.*, 2012). Yet, these findings urge us to reconsider the labels urban and rural (Levine & Coupey, 2003) as in Ecuador - comparable to many Latin-American countries - a 'new rurality' can be observed, showing a pattern of cultural behavior that is increasingly similar to that typically found in urbanized settings (Pascual, 2013). Future research is needed to refine these findings, and to check whether the small differences observed are really relevant and/or interact with other variables, such as the socio-economic status.

Although we observed high levels of satisfaction in adolescents about the sexuality education received (SSE) and the professionalism of their teachers, we stress that our findings have to be interpreted with caution. When we start from a holistic approach towards sexuality education, the adolescents seem satisfied with a biased approach towards their sexuality education. This might result in a narrow vision and a constraint of the realistic comprehension of the concept of sexuality as a natural part of human development (UNESCO, 2015). Building on the criteria put forward in the international literature, this might not equip young people with the knowledge and skills to make conscious, healthy and responsible choices about their sexuality and relationships. Providing sexuality education from a holistic perspective is grounded in human rights - including the rights of the child, and the empowerment of children and young people - (UNESCO, 2009), what also is specified in the Ecuadorian legal framework for children and young people (CNIG, 2019).

4.1. Limitations

Some limitations of the present study should be considered. First, the results are limited to the Ecuadorian context and involved respondents from a specific geographical sub-region. Second, the study only involved students from public schools, reaching predominantly adolescents from families with a low or middle socio-economic status. In private schools (some belonging to religious orders or international schools), sexuality education programs might have been implemented differently, which might evoke other results. Thirdly, adolescents might have experienced difficulties to express their real thoughts regarding sexuality education and concerning their teachers when being questioned in their school setting. Fourth, we have to be aware of the fact that participating adolescents might not have been familiar with the definition of human sexuality as used in the survey and may have started from their (narrow) vision of what sexuality and/or sexuality education implied, or they might have been unaware as to what topics actually can be addressed in sexuality education in schools.

4.2. Implications

Our findings have implications for policy makers and researchers. First, the local context has to be taken in account when designing or re-designing sexuality

education projects. Second, the current study questions whether the Ecuadorian approach of sexuality education in its holistic approach has indeed been implemented. The findings can be used to push reflection about the state-of-the-art, particularly given the high rates of early pregnancy and gender violence. Third, this study can inspire research and practices to listen to adolescents' voices with regard to sexuality education, in particular to recognize adolescents as sexual beings with sexual rights. Fourth, sexuality education needs to be included in the professional development of teachers, to improve their knowledge and skills, to enable them to answer difficult questions, to address sensitive matters, and to acknowledge students' sexuality education interests. Fifth, the findings indicate differences in participants' sexuality education needs as related to certain background variables, such as gender, age, and geographical location but not for the migration status of parents. Sexuality education programs in schools need to consider these different subgroups' needs and characteristics.

5. CONCLUSION

Adolescents participating in the present study expressed rather high satisfaction with sexuality education received at school and less, but still high satisfaction with their teachers' competences regarding sexuality education. Yet, their satisfaction is framed within a biological sexuality education approach. Sexuality education needs to be transformed to encompass other aspects of human sexuality in this target group. Eventually, sexuality education would need to be different for boys and girls. These aspects call for a stronger attention to sexuality education in the Ecuadorian formal education system.

ACKNOWLEDGEMENTS

The study was supported by the Institutional Cooperation Programme (IUC) between the University of Cuenca (Ecuador) and the Flemish Universities through funding by the Flemish Interuniversity Council (VLIR-UOS).

REFERENCES

- Adams Tucker, L., George, G., Reardon, C., & Panday, S. (2016). Learning the basics: young people's engagement with sexuality education at secondary schools. *Sex Education, 16*(4), 337-352. <https://doi.org/10.1080/14681811.2015.1091768>
- Allred, P., & David M. E. (2007). *Get real about sex: The politics and practice of sex education*. London, UK: McGraw-Hill Education.
- Allen, L. (2005). Say everything: Exploring young people's suggestions for improving sexuality education. *Sex Education: Sexuality, Society and Learning, 5*(4), 389-404.
- Allen, L. (2008). They think you shouldn't be having sex anyway: Young people's suggestions for improving sexuality education content. *Sexualities, 11*(5), 573-94.
- Bandura, A. (2006). Guide for constructing self-efficacy scales. *Self-Efficacy Beliefs of Adolescents, 5*, 307-337.
- Barr, E. M., Goldfarb, E. S., Russell, S., Seabert, D., Wallen, M., & Wilson, K. L. (2014). Improving sexuality education: The development of teacher-preparation standards. *Journal of school health, 84*(6), 396-415.
- Bay-Cheng, L. (2003). The trouble of teen sex: The construction of adolescent sexuality through school-based sexuality education. *Sex Education: Sexuality, Society and Learning, 3*(1), 61-74.
- Castro, M., & Salinas, S. (2017). *Diagnóstico de situación del embarazo en la adolescencia en la subregión andina 2016 - 2017*. Recuperado de <https://www.orasconhu.org/node/3283>
- CNIG (Consejo Nacional para la Igualdad Intergeneracional) (2019) "Niñez, situación y derechos". Quito-Ecuador. Retrieved from: <https://www.igualdad.gob.ec/ninez-y-su-situacion/>.
- Cohen, J., Byers, S., Sears, H., & Weaver, A. (2004). Sexual health education: Attitudes, knowledge, and comfort of teachers in New Brunswick Schools. *The Canadian Journal of Human Sexuality, 13*(1), 1-15
- Darré, S., Jerves, E., Castillo, J., & Enzlin, P. (2015). Sexuality education in Latin America. In: Ponzetti, J. (Ed.). *Evidence-Based Approaches to Sexuality Education: A Global Perspective* (pp. 277-291). New York, USA: Taylor & Francis.
- Das, A., (2014). Sexuality education in India: Examining the rhetoric, rethinking the future. *Sex Education, 14*(2), 210-224. <https://doi.org/10.1080/14681811.2013.866546>
- DeMaria, L., Galárraga, O., Campero, L., & Walker, D. (2009). Educación sobre sexualidad y prevención del VIH: Un diagnóstico para América Latina y el Caribe. *Revista Panamericana de Salud Pública, 26*(6), 485-493.
- DiCenso, A., Guyatt, G., Willan, A., & Griffith, L., (2002). Interventions to reduce unintended pregnancies among adolescents: Systematic review of randomised controlled trials. *British Medical Journal, 324*(7351), 1426-1430.
- Doyle, A. M., Mavedzenge, S. N., Plummer, M. L., & Ross, D. A. (2012). The sexual behaviour of adolescents in sub-Saharan Africa: patterns and trends from national surveys. *Tropical Medicine & International Health, 17*(7), 796-807. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3156.2012.03005.x>
- Ministerio de Educación del Ecuador. (2012). *Constitución de la República, Ley Orgánica de Educación Intercultural y Reglamento General*. Quito, Ecuador.
- Eisenberg, M., Madsen, N., Oliphant, J., & Sieving, R. (2013). Barriers to providing the sexuality education that teachers believe students need. *Journal of School Health, 83*(5), 335-342. <https://doi.org/10.1111/josh.12036>
- Folayan, M. O., Adebajo, S., Adeyemi, A., & Ogungbemi, K. M. (2015). Differences in sexual practices, sexual behavior and HIV risk profile between adolescents and young persons in rural and urban Nigeria. *PloS one, 10*(7), e0129106.

- <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0129106>
- Forrest, S., Strange, V., Oakley, A., & RIPPLE Study Team. (2004). What do young people want from sex education? The results of a needs assessment from a peer-led sex education program. *Culture, Health & Sexuality*, 6(4), 337-354. <https://doi.org/10.1080/13691050310001645050>
- Giami, A., Ohlrichs, Y., Quilliam, S., Wellings, K., Pacey, A., & Wylie, K. (2006). Sex education in schools is insufficient to support adolescents in the 21st century: A summary of sexual and relationship therapy's inaugural debate. 8th Congress of the European Federation of Sexology in Prague, 5 June 2006. *Sexual and Relationship Therapy*, 21(4), 485-490. <https://doi.org/10.1080/14681990601019515>
- Haberland, N., & Rogow, D. (2015). Sexuality education: Emerging trends in evidence and practice. *Journal of Adolescent Health*, 56(1-Supplement), S15-S21. <https://doi.org/10.1016/j.jadohealth.2014.08.013>
- Helleve, A., Flisher, A., Onya, H., Mükoma, W., & Klepp, K. (2011). Can "any" teacher teach sexuality and HIV/AIDS? Perspectives of South African life orientation teachers. *Sex Education: Sexuality, Society and Learning*, 11(1), 13-26.
- Helmich, J. (2009). What is comprehensive sexuality education? Going WAAAAAY beyond abstinence and condoms. *American Journal of Sexuality Education*, 4(1), 10-15. <https://doi.org/10.1080/15546120902870315>
- Hilton, G. (2003). Listening to the boys: English boys' views on the desirable characteristics of teachers of sex education. *Sex Education: Sexuality, Society and Learning*, 3(1), 33-45. <https://doi.org/10.1080/1468181032000052144>
- Hirst, J. (2008). Developing sexual competence? Exploring strategies for the provision of effective sexualities and relationships education. *Sex Education: Sexuality, Society and Learning*, 8(4), 399-413. <https://doi.org/10.1080/14681810802433929>
- Huberman, A. M., Grounauer, M. M., & Marti, J. (1993). *The lives of teachers*. London, UK: Teachers College Press.
- Hunt, A., & Ott, M. A. (2014). Challenges in adapting and implementing evidence-based sex education programs to local contexts. In: *Sex Education: Attitude of Adolescents, Cultural Differences and Schools' Challenges*. New York, USA: Nova Science Publishers Inc.
- Instituto Nacional de Estadísticas Censos (INEC). (2010). *Resultados Censo Azuay 2010*. Retrieved from <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/wp-content/descargas/Manu-lateral/Resultados-provinciales/azuay.pdf>.
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC). (2014). *Resultados demografía y salud sexual y reproductiva*. Retrieved from <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/msp-e-inec-presentan-resultados-de-demografia-y-salud-sexual-y-reproductiva/>.
- International Planned Parenthood Federation (IPPF). (2009). *From evidence to action: Advocating for comprehensive sexuality education*. London, UK: International Planned Parenthood Federation.
- Recuperado de: <https://www.ippf.org/resource/evidence-action-advocating-comprehensive-sexuality-education>
- Jokhan, M. (2008). Parental absence as a consequence of migration: Reviewing the literature. *Social and Economic Studies*, 89-117.
- Kehily, M. (2002). Sexing the subject: Teachers, pedagogies and sex education. *Sex Education: Sexuality, Society and Learning*, 2(3), 215-31. <https://doi.org/10.1080/1468181022000025785>
- Kirby, D. (2002). The impact of schools and school programs upon adolescent sexual behavior. *Journal of Sex Research*, 39(1), 27-33.
- Kirby, D., Obasi, A., & Laris, B. (2006). *The effectiveness of sex education and HIV education interventions in schools in developing countries*. Technical Report Series-World Health Organization, 938, 103-50.
- Levine, S., & Coupey, S. (2003). Adolescent substance use, sexual behavior, and metropolitan status: Is 'urban' a risk factor? *Journal of Adolescent Health*, 32(5), 350-355. [https://doi.org/10.1016/S1054-139X\(03\)00016-8](https://doi.org/10.1016/S1054-139X(03)00016-8)
- Linacre, J. (2002). Optimizing rating scale category effectiveness. *Journal of Applied Measurement*, 3(1), 85-106.
- Lupton, D., & Tulloch, J. (1996). 'All red in the face': students' views on school-based HIV/AIDS and sexuality education. *The Sociological Review*, 44(2), 252-271. <https://doi.org/10.1111/j.1467-954X.1996.tb00424.x>
- MacDonald, J. A., Gagnon, A., Mitchell, C., Di Meglio, G., Rennick, J., & Cox, J. (2011). Asking to listen towards a youth perspective on sexual health education and needs. *Sex Education: Sexuality, Society and Learning*, 11(4), 443-457. <https://doi.org/10.1080/14681811.2011.595268>
- Martín, O. (2007). *¿Sexualidad en la escuela?* Buenos Aires, Argentina: Editorial SB.
- Matthias, R., Lubben, J., Atchison, K., & Schweitzer, S. (1997). Sexual activity and satisfaction among very old adults: Results from a community-dwelling medicare population survey. *The Gerontologist*, 37(1), 6-14. <http://dx.doi.org/10.1093/geront/37.1.6>
- Measor, L. (2004). Young people's views of sex education: Gender, information and knowledge. *Sex Education: Sexuality, Society and Learning*, 4(2), 153-166. <https://doi.org/10.1080/14681810410001678338>
- Milton, J., Berne, L., Peppard, J., Patton, W., Hunt, L., & Wright, S. (2001). Teaching sexuality education in high schools: What qualities do Australian teachers' value? *Sex Education: Sexuality, Society and Learning*, 1(2), 175-186. <https://doi.org/10.1080/14681810120052597>
- Ministry of Education of Ecuador. (2012). *Archivo Maestro Instituciones Educativas*. Retrieved from: <http://educacion.gob.ec/amie>
- Muhanguzi, F. K., & Ninsiima, A. (2011). Embracing teen sexuality: Teenagers' assessment of sexuality education in Uganda. *Empowering women for gender equity*, 25(3), 54-63. <http://dx.doi.org/10.1080/10130950.2011.610987>

Olwig, K. (1999). Narratives of the children left behind: Home and identity in globalised caribbean families. *Journal of Ethnic and Migration Studies*, 25(2), 267-284. <https://doi.org/10.1080/1369183X.1999.9976685>

Oulton, C., Day, V., Dillon, J., & Grace, M. (2004). Controversial issues - teachers' attitudes and practices in the context of citizenship education. *Oxford Review of Education*, 30(4), 489-507. <https://doi.org/10.1080/0305498042000303973>

García-Pascual, F. (2013). ¿Un nuevo modelo rural en Ecuador? Cambios y permanencias en los espacios rurales en la era de la globalización. *Íconos-Revista de Ciencias Sociales*, (29), 77-93. <https://doi.org/10.17141/iconos.29.2007.242>

Pedone, C. (2006). Los cambios familiares y educativos en los actuales contextos migratorios ecuatorianos: Una perspectiva transatlántica. *Athenea Digital. Revista de Pensamiento e Investigación Social*, (10), 154-171.

Preston, M. (2013). 'Very very risky': Sexuality education teachers' definition of sexuality and teaching and learning responsibilities. *American Journal of Sexuality Education*, 8(1-2), 18-35. <https://doi.org/10.1080/15546128.2013.790223>

Rijsdijk, L. E., Bos, A. E., Ruiter, R. A., Leerlooijer, J. N., de Haas, B., & Schaalma, H. P. (2011). The world starts with me: A multilevel evaluation of a comprehensive sex education program targeting adolescents in Uganda. *BMC Public Health*, 11(1), 1-12. <https://doi.org/10.1186/1471-2458-11-334>

Santelli, J., Ott, M. A., Lyon, M., Rogers, J., Summers, D., & Schleifer, R. (2006). Abstinence and abstinence-only education: A review of US policies and programs. *Journal of Adolescent Health*, 38(1), 72-81. <https://doi.org/10.1016/j.jadohealth.2005.10.006>

Schmidt, S., Wandersman, A., & Hills, K. (2015). Evidence-based sexuality education programs in schools: Do they align with the national sexuality education standards? *American Journal of Sexuality Education*, 10(2), 177-195. <https://doi.org/10.1080/15546128.2015.1025937>

Shoveller, J., Johnson, J., Langille, D., & Mitchell, T. (2004). Socio-cultural influences on young people's sexual development. *Social Science & Medicine*, 59(3), 473-87. <http://dx.doi.org/10.1016/j.socscimed.2003.11.017>

Simovska, V., & Kane, R. (2015). Sexuality education in different contexts: limitations and possibilities. *Health Education*, 115(1), 2-6. <https://doi.org/10.1108/HE-10-2014-0093>

Suellentrop, K. (2011). *What works 2011-2012: Curriculum-based programs that help prevent teen pregnancy*. Washington D.C., USA: National Campaign to Prevent Teen and Unplanned Pregnancy. Available at <http://Thenationalcampaign.org/Resource/What-Works>.

Tenorio-Ambrossi, R. (2004). *La intimidación desnuda. Sexualidad y cultura indígena*. Quito, Ecuador: Ed. Abya-Yala.

Thomas, F., & Aggleton, P. (2016). School-based sex and relationships education: Current knowledge and emerging themes. In: Sundaram V., Sauntson H. (Eds). *Global perspectives and key debates in sex and relationships education: Addressing issues of gender, sexuality, plurality and power*, 13-29. London, UK: Palgrave Pivot.

UNESCO. (2015). *Emerging evidence, lessons and practice in comprehensive sexuality education. A global review*. <http://unesdoc.unesco.org/images/0024/002431/243106e.pdf>.

UNESCO. (2009). *International technical guidance on sexuality education. An evidence-informed approach for schools, teachers and health educators*. <http://unesdoc.unesco.org/images/0018/001832/183281e.pdf>.

Walters, A., & Hayes, D. (2007). Teaching about sexuality: Balancing contradictory social messages with professional standards. *American Journal of Sexuality Education*, 2(2), 27-49.

Wilson, K., Goodson, P., Pruitt, B., Buhi, E., & Davis-Gunnels, E. (2005). A review of 21 curricula for abstinence-only-until-marriage programs. *Journal of School Health*, 75(3), 90-98. <https://doi.org/10.1111/j.1746-1561.2005.00003.x>

World Health Organization (WHO). (2010). *Standards for sexuality education in Europe: A framework for policy makers, educational and health authorities and specialists*. Cologne, Germany: Federal Centre for Health Education

ANEXO

Questionnaire to assess students' perceptions regarding sexual education

Dear Student, this questionnaire aims to know your perceptions about sexual education. Please read the questions given below and answer them in the most accurate way. Your answers will be strictly confidential. Please answer all questions.

PART I. The following questions are focused in knowing some general demographics characteristics. Please read the items and mark a cross in the category that belongs to you:		
1.1. How old are you? Years _____ Months _____	1.2. Gender Male _____ Female _____	1.3. Where is your school located? Urban area ____ Rural area ____ Urban-Rural ____
1.4. Did migrated one or both of your parents abroad? YES () NO ()		

PART II. This part aims to know the perceptions about your experiences regarding Sexual Education.						
2.1. Have you received Sexual Education in your current school?						
Yes _____	If your answer was Yes , just answer the part A of the follow question (questions 2.2 to 2.8)			No _____	If your answer was Not , just answer the part B of the follows question (questions 2.9 and 2.10)	
PART A (if your answer was yes)						
2.2. In which courses have you had sexual education classes?						
2.3. What did you like the most about sexual education classes that you had?						
Please read all the statements presented bellow and indicate the grade of agreement of disagreement with each one, marking one of the follows alternatives:						
1. Total agree						
2. Quite agree						
3. Mildly agree						
4. Slightly Disagree						
5. Somewhat disagree						
6. Strongly Disagree						
Statements	1	2	3	4	5	6
2.4. During sexual education classes; topics that were interesting to me were addressed.						
2.5. The way of working used kept me motivated.						
2.6. During sexual education classes I learned something new and important to me.						
2.8. During the classes were sexual education topics were addressed I felt comfortable.						
PART B (if your answer was not)						
2.9. How would you like sexual education in your school? (Regarding the topics, how to work, what do you like that your teachers do or say, etc).						
2.10. In what subjects do you think sexual education should be included?						

PART III. This part aims to know your perceptions respect of the role of your teachers in relation with sexual education						
Please read the statements presented bellow and indicate the grade of agreement of disagreement with each one, marking one of the follows alternatives:						
1. Total agree						
2. Quite agree						
3. Mildly agree						
4. Slightly Disagree						
5. Somewhat disagree						
6. Strongly Disagree						
Statement	1	2	3	4	5	6
3.1. My teachers could clearly express their views regarding aspects related to sexual education in front of us.						
3.2. My teachers could get their students to develop positive attitudes toward sexuality *. * (Positive attitudes are opinions and values about the actions that lead to responsibly handle sexuality)						
3.3. My teachers could get motivate us to feel comfortable as we address issues relating to sex education.						
3.4. My teachers could get their students to develop skills * so we can responsibly handle our sexuality. * (The skills are behaviors that students can practice)						
3.5. My teachers would consider time to work sex education although they have to address other topics in their classes						
3.6. My teachers could get their students to improve their knowledge about sexuality * (Knowledge is to have information about facts related to sexual education in a comprehensive way and adjusted to different ages).						



Artículo científico / Research paper

Bullying y cyberbullying escolar en niños y jóvenes adolescentes: un estudio de caso

School bullying and cyberbullying in children and young adolescents: a case study

Miriam C. Ordóñez-Ordóñez , **Katerine D. Prado Cabrera** 

Facultad de Psicología, Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador.

Autor para correspondencia: miriam.ordonez@ucuenca.edu.ec

Fecha de recepción: 17 de mayo de 2019 - Fecha de aceptación: 2 de octubre de 2019

RESUMEN

El objetivo de la investigación fue identificar la incidencia de bullying y cyberbullying en 983 estudiantes de 10 a 15 años de edad, del sexto al décimo año de EGB, pertenecientes a cinco instituciones educativas de la ciudad de Cuenca, para lo cual se cruzaron las variables de bullying y cyberbullying con la edad, el sexo y nivel educativo de los estudiantes encuestados, visualizando la implicación de los protagonistas, la tipología y sus manifestaciones. La metodología utilizada fue cuantitativa, con alcance descriptivo relacional, haciendo uso de dos instrumentos de medición: la escala European Bullying Intervention Project Questionnaire (EBIPQ) y la escala European Cyberbullying Intervention Project Questionnaire (ECIPQ), que permitieron identificar la incidencia y características del bullying y cyberbullying. Se evidenció un 28.3% de estudiantes víctimas de acoso escolar, de ellos un 20.7% eran víctimas de bullying, un 4.3% cibervíctimas y un 3.4% víctimas tanto de bullying como de cyberbullying. En el bullying la principal tipología presente era la verbal directa, en tanto que en el cyberbullying su principal manifestación fueron los insultos electrónicos y la exclusión. Se visualizó un mayor nivel de implicación de los varones como víctimas y agresores victimizados, en cuanto a la edad, los estudiantes de 12 a 15 años pertenecientes al octavo, noveno y décimo año presentaron un mayor grado de implicación como ciberagresores victimizados. En conclusión, se puede evidenciar que existe una mayor presencia del acoso escolar tradicional y una menor incidencia del cyberbullying, no obstante, parecería presentarse una relación directa entre las dos modalidades de acoso escolar.

Palabras clave: Acoso escolar, cyberbullying, acosador, víctima, acosador-victimizado.

ABSTRACT

The objective of the research was to identify the incidence of bullying and cyberbullying in 983 students at age 10 to 15, from the sixth to the tenth grade of EGB, belonging to five educational institutions in the city of Cuenca, for which the variables of bullying and cyberbullying were crossed with age, sex and educational level of the surveyed students, visualizing the involvement of the protagonists, the typology and its manifestations. The methodology used was quantitative, with relational descriptive scope, making use of two measurement instruments: The European Bullying Intervention Project Questionnaire (EBIPQ) and the European Cyberbullying Intervention Project Questionnaire (ECIPQ), which allowed to identify the incidence and characteristics of bullying and cyberbullying. There was evidence of 28.3% of students' victim of bullying, of them 20.7% were victim of bullying, 4.3% cyber victim and 3.4% victim of both bullying and cyberbullying. In bullying the main typology was direct verbal, while in cyberbullying its main manifestation were electronic insults and exclusion. A higher level of involvement of males was seen as victims and victimized aggressors. In terms of age, the 12- to 15-year-old students belonging respectively to the eighth, ninth and tenth grade presented a higher level of involvement as victimized cyber attackers. In conclusion, there is a greater presence of traditional school bullying and a lower incidence of cyberbullying, however, a direct relationship between the two forms of bullying seems to be present.

Keywords: Bullying, cyberbullying, stalker, victim, victimized stalker.

1. INTRODUCCIÓN

El acoso escolar es toda agresión física, verbal o psicológica de un niño o grupo de niños ejerce en contra de otro, acción que se repite y se mantiene en el tiempo. El acoso, como toda forma de violencia, afecta a los niños y adolescentes limitando un desarrollo psicológico saludable, un adecuado aprendizaje escolar y la inclusión

en la sociedad. Es un fenómeno psicosocial multicausal, con una dinámica propia, cuya configuración involucra a tres actores (víctima, acosador, espectador), un contexto socioeducativo y al sistema educativo como tal. No es un fenómeno exclusivo del contexto educativo, es un reflejo de un dolor social (Kaplan, 2018), de un dolor que crece y se intensifica logrando instaurarse y plasmarse en el ámbito educativo y en su clima escolar.



Las características que lo identifican son: la repetición y mantenimiento en el tiempo (agresión sistemática, deliberada y repetitiva) y la asimetría de poder (desequilibrio económico, social o físico) entre víctima y acosador. Se encuentra afianzado en dos leyes: a) la ley del silencio (víctima y espectador callan por temor a las represalias o porque lo sienten como un problema ajeno), y b) la ley de dominio-sumisión. En este entramado relacional la víctima se siente intimidada, excluida y débil, dado que las agresiones se intensifican progresivamente, las mismas que se presentan en su mayoría en privado (Mendoza, 2014). La víctima puede ser cualquier niño que presente características diversas al grupo y se deje afectar, no necesariamente “carece de habilidades sociales, con poca autoestima e introvertido ... cualquier rasgo diferenciador es susceptible de ser utilizado por quien acosa para convertir a otro niño en blanco de sus burlas” (Castro & Reta, 2014, p. 54), en esta dinámica difusa el niño víctima en su intento de escapar del acoso puede terminar acosando como un desfogue catártico de su malestar.

El acoso escolar presenta una gran variedad de causas sociales, contextuales, personales (patrones conductuales de estrategias de afrontamiento) y familiares, a su vez consecuencias fundamentalmente para la víctima que abarcan desde un estado inicial de letargo, tristeza y flashbacks que van avanzando a un estado de ansiedad, distimia y depresión, acompañada de somatizaciones (dolor de cabeza, dolor de estómago, náuseas, vómitos y poliuria), no querer ir a la escuela, bajar su rendimiento escolar, tener pesadillas nocturnas, miedo, entre otros (Ordóñez, Mora, & Pacheco, 2016; Mendoza, 2014).

Es un fenómeno complejo por su gran variedad de tipologías y manifestaciones, se presenta como acoso escolar tradicional (bullying) y también puede presentarse como cyberbullying. En lo referente al bullying tradicional, este puede ser: a) físico directo generado con la intención de producir daño o lesiones físicas, se manifiesta a través de: golpes, patadas, pellizcos, empujones y escupir, b) verbal directo que genera daño emocional en las víctimas, se presenta mediante insultos, rumores, chismes, c) verbal indirecto, a través de amenazas, d) daño a la propiedad del otro, por medio del robo o daño de las pertenencias y e) relacional que consiste en excluir socialmente a la víctima, su principal manifestación es el aislamiento (Ortega-Ruiz, 1997; Olweus, 1989; Mendoza, 2014).

El cyberbullying se caracteriza por el uso de instrumentos informáticos (internet, celular, redes sociales) con la finalidad de generar un daño constante y permanente, en donde el agresor mantiene el anonimato haciendo uso de un nombre falso para no ser identificado, colocando a la víctima en un mayor nivel de indefensión debido al avance masivo del acoso (Mendoza, 2014). Las manifestaciones del cyberbullying, a pesar de que guardan relación con el bullying tradicional, tienen características propias. Según Barlett (2019) existen por lo menos cuatro características propias que hacen que el cyberbullying se diferencie del bullying tradicional. En primer lugar, está la percepción de anonimato que se produce en el cyberbullying; por ejemplo, se pueden hacer rumores, burlas e insultos sin que la víctima sepa quién dio paso a tales comportamientos negativos. La forma más generalizada de acoso cibernético es que muchos usuarios de Internet pueden crear nombres de usuarios falsos, direcciones de correo electrónico únicas y cuentas de redes sociales falsas, para ocultar su verdadera identidad cuando están en

línea. La segunda característica diferenciadora refiere a la asimetría de poder en el caso del cyberbullying; esta diferencia no necesariamente es física, debido a que no existe contacto entre el cyberagresor y la cybervíctima, más bien se ha demostrado que los agresores de esta modalidad de violencia reconocen que por medio de los dispositivos electrónicos su fisonomía es irrelevante. La tercera característica diferenciadora refiere a la repetitividad en el tiempo de las conductas agresivas. En el mundo virtual basta que se dé una publicación ofensiva contra otro, ésta podrá ser revisada y comentada por muchos otros. Finalmente, la cuarta característica hace referencia a la diferencia del bullying tradicional, el cyberbullying no implica ningún tipo de contacto físico.

El cyberbullying se manifiesta a través de: a) insultos electrónicos/hostigamiento, haciendo uso de mensajes ofensivos, malintencionados y prosaicos, b) denigración, mediante la difusión de rumores inciertos que buscan dañar la reputación de la víctima, c) ciberpersecución, con el envío de mensajes amenazantes, d) suplantación de personalidad, haciéndose pasar por la víctima para enviar mensajes maliciosos, e) acoso cibernético por delegación /indirecto, haciendo uso de la cuenta de la víctima con la finalidad de enviar correos difamatorios a sus amigos, f) desvelamiento, mediante la difusión de secretos o imágenes, y g) exclusión, generando una exclusión intencionada de la víctima a nivel de los grupos de redes sociales (Giménez, Arnaiz, & Maquilon, 2013; Willard, 2005; Aftab, 2006; Mendoza, 2014).

El acoso escolar tradicional y el cyberbullying son dos modalidades de acoso, la primera directa (offline) y la segunda indirecta (online) dado que hace uso de la tecnología, pero no por ello menos grave. A nivel internacional las dos presentan una alta incidencia, evidenciable en varios estudios relacionados a la temática, en donde se visualiza la superposición entre el bullying y el cyberbullying, de manera específica en sus dos protagonistas: agresor y víctima, de tal manera que una víctima de acoso tradicional también puede ser una cibervíctima (Garaigordobil, Martínez-Valderrey, Páez, & Cardozo, 2015; Castro & Reta, 2014; Herrera-López, Romera, & Ortega-Ruiz, 2017).

Se presentan una gran variedad de instrumentos que identifican la incidencia de bullying y cyberbullying, es así que, en el País Vasco, Machimbarrena & Garaigordobil (2018) aplicaron la escala Cyberbullying: screening of peer-harassment para determinar la prevalencia de bullying y cyberbullying en estudiantes de primaria; en Murcia, González-Calatayud (2018) empleó el cuestionario Cyberbullying: screening of peer harassment, que le permitió identificar el porcentaje de cyberbullying, al igual que su tipología y manifestaciones. En su investigación Beltrán-Catalán, Zych, Ortega-Ruiz, & Llorent (2018) describir en su estudio los diferentes patrones de victimización y la gravedad tanto de bullying como de cyberbullying, hicieron uso del European Bullying Intervention Project Questionnaire y el European Cyberbullying Intervention Project Questionnaire. Twardowska-Staszek, Zych, & Ortega-Ruiz (2018) realizaron una investigación en Polonia donde validaron los instrumentos European Bullying Intervention Project Questionnaire y el European Cyberbullying Intervention Project Questionnaire. Analogo; Ortega-Ruiz, Del Rey, & Casas (2016) validaron en España las escalas European Bullying Intervention Project Questionnaire (EBIPQ) y el European Cyberbullying Intervention Project Questionnaire (ECIPQ). Ellos obteniendo buenas

propiedades psicométricas y evidenciando la relación entre el bullying y cyberbullying (lo que los convierte en instrumentos idóneos para evaluar de forma conjunta estos dos fenómenos), y destacan la influencia del bullying sobre el cyberbullying, evidenciando que una víctima de bullying también puede convertirse en víctima de cyberbullying. Finalmente, en Colombia Herrera-López, Romera, & Ortega-Ruiz (2017) adaptaron y comprobaron las propiedades psicométricas de la escala European Bullying Intervention Project Questionnaire (EBIPQ), y encontrando óptimas propiedades psicométricas para los factores de victimización y agresión.

La escala European Bullying Intervention Project Questionnaire (EBIPQ) permite identificar la prevalencia de implicación en bullying, sus protagonistas: víctima, agresor y agresor victimizado, su tipología (directa e indirecta) y sus manifestaciones: físicas (golpear, patear, empujar), verbales (insultar, amenazar, decir palabras mal sonantes, difundir rumores), daño a la propiedad del otro (robar y romper las cosas) y relacionales (exclusión). La escala European Cyberbullying Intervention Project Questionnaire (ECIPQ) visualiza las dimensiones de cibervictimización y ciberagresión, evidenciando (por un periodo de tiempo de los dos últimos dos meses) sus manifestaciones a nivel de: insultos electrónicos / hostigamiento, denigración, ciberpersecución, acoso cibernético por delegación/indirecto, suplantación de identidad, desvelamiento y exclusión (Ortega-Ruiz *et al.*, 2016).

En base a estos antecedentes investigativos se abren una serie de interrogantes ligadas a ¿cuál es la incidencia de bullying y cyberbullying en nuestro contexto educativo?, en función de lo cual se ha planteado los siguientes objetivos de investigación:

- Determinar la incidencia de bullying y cyberbullying a nivel de víctimas, agresores y agresores victimizados;
- Identificar las manifestaciones de violencia desde la percepción de las víctimas y de los agresores; y
- Comparar la implicación en bullying y cyberbullying entre hombres y mujeres, entre niños de 10 a 11 años y jóvenes adolescentes entre 12 y 15 años, y entre los diferentes grados.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El presente es un estudio de corte transversal, no experimental, con enfoque cuantitativo y alcance

Tabla 1. Características de la población de estudiantes encuestados.

Edad	n	%	Tipo familia	n	%
Diez	218	22.2	Nuclear	489	49.7
Once	265	27.0	Extendida	147	15.0
Doce	215	21.9	Monoparental materna	148	15.1
Trece	145	14.8	Monoparental paterna	9	0.9
Catorce	116	11.8	Monoparental materna con soporte de origen	84	8.5
Quince	24	2.4	Monoparental paterna con soporte de origen	8	0.8
Total	983	100	Reconstituida	44	4.5
			Reconstituida y extendida	28	2.8
			Otra	26	2.6

¹ Dato que permitió caracterizar a la población de estudio.

² La madre educa sola a su hijo sin ningún apoyo familiar (Minuchin & Fishman, 1997).

descriptivo relacional, en el que participaron niños y adolescentes de Educación General Básica (EGB). Las variables incluidas en el estudio estuvieron conformadas por: a) características sociodemográficas como: sexo, edad, tipo de familia¹ y año de EGB, b) los protagonistas de acoso escolar: víctimas, agresores y agresores victimizados, c) su modalidad a nivel de acoso escolar tradicional o cyberbullying, d) su tipología, y e) sus manifestaciones.

La población de estudio estuvo constituida por 983 niños y adolescentes, de entre 10 y 15 años de edad, estudiantes de sexto a décimo año de EGB pertenecientes a cinco Instituciones Educativas del casco urbano de la ciudad de Cuenca, 4 de ellas eran fiscales y una privada; respectivamente la Unidad Educativa "A" con 252 estudiantes (25.6%), Unidad Educativa "B" con 220 (22.4%), Unidad Educativa "C" con 286 (29.1%), Unidad Educativa "D" con 114 (11.6%), y la Unidad Educativa "E" con 111 (11.3%). De los cuales el 42.9% fueron mujeres (n= 422) y el 57% hombres (n=561), de entre 10 y 15 años de edad. El 49.7% de estudiantes pertenecía a familias nucleares, el 23.6% a familias monoparentales maternas sin soporte² y con soporte de origen³, el 15% a familias extendidas, el 4.5% a familias reconstituidas y el 1.7 % a familias monoparentales paternas sin soporte y con soporte de origen (ver Tabla 1).

La recolección de información inició con la obtención de los permisos por parte de la Coordinación Zonal 6 de Educación y de las autoridades educativas, se coordinó con los directivos de cada institución y se solicitó el consentimiento informado debidamente firmado por los representantes de los estudiantes participantes, así como el asentimiento de los niños y adolescentes, cumpliendo las normas éticas en materia de investigación; luego se visitó el plantel para administrar el cuestionario. Se explicó a los estudiantes el propósito del estudio y se garantizó el carácter anónimo, confidencial y voluntario de su participación. La aplicación de los instrumentos se realizó de forma colectiva en el aula de clase, dos evaluadores por clase, el tiempo medio de cumplimentación de los cuestionarios fue de 30 minutos.

Los datos se recolectaron mediante encuestas auto aplicadas empleando dos escalas: la escala European Bullying Intervention Project Questionnaire (EBIPQ) versión en español (Ortega-Ruiz *et al.*, 2016) y la escala European Cyberbullying Intervention Project Questionnaire (ECIPQ) versión en español (Ortega-Ruiz *et al.*, 2016). El EBIPQ mide la incidencia de bullying, lo

³ La madre educa a su hijo con apoyo de su familia de origen: madre, padre, hermanos, o hijos mayores (Minuchin & Fishman, 1997).

Tabla 2. Kolmogorov-Smirnov con corrección de significación de Lilliefors para testear la normalidad del EBIPQ y ECIPQ.

Variable	Kolmogorov-Smirnov		
	Estadístico ⁴	GI ⁵	Sig. ⁶
<i>European Bullying Intervention Project Questionnaire (EBIPQ)</i>			
B1. Alguien me ha golpeado, me ha pateado o me ha empujado	.328	272	.000
B2. Alguien me ha insultado	.181	272	.000
B3. Alguien les ha dicho a otras personas palabras sobre mí porque quieren hacerme daño	.332	272	.000
B4. Alguien me ha amenazado	.477	272	.000
B5. Alguien me ha robado o ha dañado mis cosas	.343	272	.000
B6. Otras personas me han dejado de lado	.357	272	.000
B7. Alguien ha dicho a otras personas chismes sobre mí	.260	272	.000
B8. He golpeado, pateado o empujado a alguien	.460	272	.000
B9. He insultado o he dicho palabras a alguien porque quiero hacerle daño	.512	272	.000
B10. He dicho a otras personas palabras sobre alguien porque quiero hacerle daño	.523	272	.000
B11. He amenazado a alguien	.532	272	.000
B12. He robado o dañado alguna cosa de alguien	.528	272	.000
B13. He dejado de lado a alguien (he ignorado)	.463	272	.000
B14. He dicho a otras personas chismes sobre alguien	.482	272	.000
<i>European Cyberbullying Intervention Project Questionnaire (ECIPQ)</i>			
C1. Alguien me ha dicho palabras o me ha insultado usando el internet o mensajes por celular, porque quieren hacerme daño.	.446	278	.000
C2. Alguien ha dicho a otras palabras sobre mí usando internet o mensajes por celular, porque quieren hacerme daño.	.447	278	.000
C3. Alguien me ha amenazado a través de mensajes en internet o celular.	.508	278	.000
C4. Alguien ha jaqueado mi cuenta de correo y ha robado mi información	.496	278	.000
C5. Alguien ha jaqueado mi cuenta de correo o redes sociales y se ha hecho pasar por mí	.504	278	.000
C6. Alguien ha creado una cuenta de correo o redes sociales falsas para hacerse pasar por mí	.521	278	.000
C7. Alguien ha publicado información personal sobre mí en el internet	.521	278	.000
C8. Alguien ha publicado videos o fotos comprometedoras sobre mí en internet	.531	278	.000
C9. Alguien ha modificado fotos mías que yo había publicado en internet	.529	278	.000
C10. He sido dejado de lado (excluido, ignorado) o bloqueado de una red social o del chat	.416	278	.000
C11. Alguien ha dicho chismes sobre mí por internet	.450	278	.000
C12. He dicho palabras a alguien o le he insultado usando mensajes por celular o internet, porque quiero hacerle daño.	.538	278	.000
C13. He dicho palabras sobre alguien a otras personas a través de mensajes por celular o internet, porque quiero hacerle daño.	.541	278	.000
C14. He amenazado a alguien a través de mensajes por celular o internet	.528	278	.000
C15. He jaqueado la cuenta de correo o redes sociales de alguien y me he robado su información personal	.536	278	.000
C16. He jaqueado la cuenta de correo o redes sociales de alguien y me he hecho pasar por él o ella.	.533	278	.000
C17. He creado una cuenta de correo de redes sociales falsa para hacerme pasar por otra persona.	.537	278	.000
C18. He publicado información personal de alguien en el internet, porque quiero hacerle daño.	.520	278	.000
C19. He publicado videos o fotos comprometedoras de alguien en internet	.534	278	.000
C20. He modificado fotos o videos de alguien que estaban publicados en internet	.532	278	.000
C21. He dejado de lado (excluido, ignorado) o bloqueado a alguien en una red social o chat	.467	278	.000
C22. He dicho chismes sobre alguien en internet	.536	278	.000

⁴ Estadístico: diferencia absoluta máxima entre la curva de frecuencia normal y observada⁵ gl: grados de libertad⁶ Sig.: una variable no se distribuye normalmente si Sig. < .05

integran 14 ítems, con cinco opciones de respuesta desde 0 a 4 (tipo Likert), siendo 0=nunca, 1=una vez o dos veces, 2=una o dos veces al mes, 3=alrededor de una vez por semana, y 4=más de una vez a la semana. Del total de ítems, 7 corresponden a situaciones de victimización y 7 de agresión. Los valores de consistencia interna (alpha de Cronbach) de la versión adaptada al contexto, revelaron un alto grado de fiabilidad: $\alpha = .769$ para los ítems de victimización y $\alpha = .759$ para los de agresor.

El ECIPQ mide la incidencia de cyberbullying, está compuesto por 22 ítems de respuestas tipo Likert con cinco opciones desde 0 a 4, siendo 0=nunca, 1=una vez o dos veces, 2=una o dos veces al mes, 3=alrededor de una vez por semana, y 4=más de una vez a la semana. Del total de ítems, 11 se refieren a la cibervictimización y 11 a la ciberagresión. La consistencia interna de la versión adaptada al contexto mostró una alta fiabilidad $\alpha = .840$ para los ítems de cibervictimización y $\alpha = .732$ para los de ciberagresión.

En la sección inicial de las escalas se incorporaron variables sociodemográficas como: sexo y edad. Para determinar los diferentes roles de implicación tanto en el bullying tradicional cuanto en el cyberbullying se siguieron los criterios establecidos por los autores de las escalas: Brighi *et al.* (2012a, 2012b) y Del Rey *et al.* (2015):

- Un estudiante responde el rol de víctima o cibervíctima cuando los puntajes de respuesta son iguales o superiores a 2 (una vez al mes) en cualquiera de los ítems de victimización, y con puntaje igual o menor que 1 (una o dos veces) en todos los ítems de agresión.
- Un estudiante responde el rol de agresor o ciberagresor cuando sus puntuaciones son iguales o superiores a 2 (una vez al mes) en cualquiera de los ítems de agresión, y con puntaje igual o menor que 1 (una o dos veces) en todos los ítems de victimización.
- Un estudiante responde el rol de agresor-victimizado y ciberagresor victimizado si obtuvieron puntuaciones iguales o superiores a 2 (una vez al mes) en al menos uno de los ítems de agresión y de victimización.

El análisis descriptivo de las variables de estudio integro frecuencias y porcentajes, para el establecimiento de los factores asociados se hizo uso de la prueba de hipótesis chi-cuadrado, en el programa SPSS v. 25. El nivel de significancia utilizado fue de .05.

3. RESULTADOS

En primer lugar, para conocer cómo se comportan los datos del instrumento EBIPQ y ECIPQ se aplicó la prueba de Kolmogorov-Smirnov. Encontrándose valores en las puntuaciones globales con niveles de significación de .000. Esto permite rechazar la hipótesis de normalidad de datos, lo que sugiere el uso de pruebas no paramétricas para los análisis inferenciales (ver Tabla 2).

A nivel de resultados se encontró que el 28.3% (n=278) de estudiantes de la muestra son víctimas de acoso escolar, el 20.7% (n=203) son víctimas de bullying exclusivamente, el 4.3% (n=42) son cibervíctimas y el 3.4% (n=33) son víctimas de bullying y cyberbullying.

3.1. Resultados bullying

Se encontró un 24.1% (n=236) de víctimas de bullying, un 3.3% (n=32) de agresores y un 13.1% (n=129) de agresores victimizados, con una implicación del 40.4%. A nivel de la percepción de las víctimas de bullying la tipología con mayor incidencia es la verbal directa, seguida de la física, la relacional indirecta, el daño a la propiedad del otro, y en última instancia la verbal indirecta. En cuanto a la percepción de los agresores se evidencia que en primera instancia se presenta la relacional indirecta seguida de la física, la verbal directa, y el daño a la propiedad del otro; el acoso verbal indirecto (amenazas) a criterio del agresor no está presente. Tanto víctimas como agresores coinciden en la presencia de las mismas tipologías de acoso escolar, en lo que difieren es en la tipología que presenta mayor incidencia. Para la víctima la de mayor incidencia es la verbal directa, y para el agresor es la relacional indirecta. Un nivel de coincidencia es la visualización de que el acoso verbal indirecto (amenazas) se encuentra en los mínimos porcentajes, evidenciándose una mínima tendencia a la amenaza y una mayor tendencia a la ejecución del acto como tal (ver Tabla 3).

A pesar de que se pudo observar una mayor incidencia de víctimas, agresores y agresores victimizados en los niños y adolescentes varones, solo en víctimas χ^2 (1. n=982) = 8.58, $p=0.003$ y agresores victimizados χ^2 (1. n=979) = 11.123, $p=0.001$ fue la diferencia significativa. No existieron diferencias estadísticamente significativas entre víctimas, agresores y agresores victimizados con respecto a los grupos de edad. También, las diferencias encontradas en el número de los protagonistas en los diferentes grados no presentan diferencia estadísticamente significativa (ver Tabla 4).

3.2. Resultados de cyberbullying

Se encontró un 7.7% (n=75) de cibervíctimas, un 2.8% (n=27) de ciberagresores, y un 4.9% (n=48) de ciberagresores victimizados, que corresponde a una implicación total de 15.3% (n=150). Desde la percepción de la cibervíctima se observa con un mayor nivel de incidencia los insultos electrónicos (“Me han insultado”) y la exclusión (“Me han excluido, ignorado o bloqueado”), seguidos de la denigración (“Han hablado sobre mí para hacerme daño”, “han dicho chismes sobre mí”), y en un menor nivel de incidencia el desvelamiento (“alguien ha publicado videos o fotos comprometedoras sobre mí”). Desde la perspectiva del ciberagresor en primera instancia se encuentra la exclusión, seguido de los insultos electrónicos, la ciberpersecución (“He amenazado a alguien”), la suplantación de personalidad (“He jaqueado y robado información”), el acoso cibernético por delegación (“He jaqueado y me he hecho pasar por otro”), y con menores porcentajes la denigración mediante la propagación de chismes (ver Tabla 5).

Tabla 3. Manifestaciones de acoso escolar desde la perspectiva de la víctima y del agresor.

Variable	n	%
<i>Ítems de victimización (n=236)</i>		
Alguien me ha insultado	169	71.5
Alguien ha dicho a otras personas chismes sobre mí	131	55.5
Alguien ha hablado sobre mí para hacerme daño	100	42.4
Alguien me ha golpeado, pateado o empujado	100	42.4
Otras personas me han dejado de lado	92	38.9
Alguien me ha robado o ha dañado mis cosas	91	38.6
Alguien me ha amenazado	42	17.8
<i>Ítems de agresión (n=32)</i>		
He dejado de lado a alguien (he ignorado)	18	56.3
He golpeado, pateado o empujado a alguien	17	53.1
He dicho a otras personas chismes sobre otro	11	34.4
He insultado	8	25.0
He robado o dañado alguna cosa de alguien	4	12.5
He dicho palabras sobre alguien para hacerle daño	2	6.3
He amenazado a alguien	0	0.0

Tabla 4. Implicación en acoso escolar según sexo, edad y grado.

Variable de comparación	Víctimas		Agresores		Agresores victimizados		
	n	%	n	%	n	%	
Sexo	mujeres (n=422)	82	19.4	12	2.9	38	9.0
	hombres (n=561)	154	27.5	20	3.6	91	16.3
Edad	10 - 11 años (n=483)	116	24.0	12	2.5	58	12.1
	12-15 años (n=500)	120	24.0	20	4.0	71	14.2
Grado	sexto (n=193)	44	22.8	7	3.6	25	13.1
	séptimo (n=257)	55	21.4	6	2.3	34	13.2
	octavo (n=255)	65	25.5	7	2.8	35	13.7
	9no y 10mo (n=278)	72	25.9	12	4.3	35	12.6

Tabla 5. Manifestaciones de acoso escolar desde la perspectiva de la cibervíctima y del ciberagresor.

Variable	n	%
<i>Ítems de cibervictimización (n=75)</i>		
Me han insultado	38	50.7
Me han excluido, ignorado o bloqueado	38	50.7
Han hablado sobre mí para hacerme daño	36	48.0
Han dicho chismes sobre mí en internet	31	41.3
Me han jaqueado y robado mi información	26	34.7
Me han amenazado	19	25.3
Me han jaqueado y se han hecho pasar por mí	17	22.7
Han publicado información personal sobre mí	13	17.3
Cuenta falsa y se han hecho pasar por mí	12	16.0
Han modificado mis fotos	8	10.7
Me han publicado videos o fotos comprometedoras	8	10.7
<i>Ítems de ciberagresión (n=27)</i>		
He excluido, ignorado o bloqueado a alguien	17	63.0
He insultado	7	25.9
He amenazado a alguien	7	25.9
He jaqueado y robado información	6	22.2
He jaqueado y me he hecho pasar por otro	6	22.2
He dicho chismes sobre alguien	6	22.2
Cuenta falsa y me he hecho pasar por otro	5	18.5
He hablado sobre alguien para hacerle daño	4	14.8
He publicado información de otro para dañarlo	2	7.4
He publicado videos o fotos comprometedoras de alguien	2	7.4
He modificado fotos de alguien	2	7.4

Tabla 6. Implicación en ciberacoso escolar según el sexo, edad y grado.

Variable de comparación		Cibervíctimas		Ciberagresores		Ciberagresor victimizado	
		n	%	n	%	n	%
Sexo	mujeres (n=422)	25	5.9	10	2.4	12	2.8
	hombres (n=560)	50	9.0	17	3.1	36	6.4
Edad	10 - 11 años (n=483)	29	6.0	12	2.5	15	3.1
	12-15 años (n=500)	46	9.2	15	3.0	33	6.6
Grado	sexto (n=193)	6	3.2	5	2.6	4	2.1
	séptimo (n=257)	19	7.4	6	2.3	12	4.7
	octavo (n=255)	21	8.2	5	2.0	18	7.1
	9no y 10mo (n=278)	29	10.5	11	4.0	14	5.1

A pesar de las aparentes diferencias, no se puede afirmar que son significativas en relación con el número de hombres y mujeres cibervíctimas y ciberagresores; sin embargo, sí se presentó diferencia estadísticamente significativa en ciberagresores victimizados χ^2 (1. n=982) = 6.6527, $p=0.0099$, siendo más frecuente en hombres. Con respecto a los grupos de edad sucede una situación similar. Existió diferencia con respecto a la edad de los ciberagresores victimizados χ^2 (2. n=983) = 6.459, $p=0.011$, siendo más frecuente en los estudiantes de entre 12 y 15 años. En relación con los grados, se presentaron diferencias en cibervíctimas χ^2 (3. n=983) = 8.8472, $p<0.0313$; mas no en ciberagresores y ciberagresores victimizados (ver Tabla 6).

4. DISCUSIÓN

El *primer objetivo* pretendió determinar la incidencia de bullying y cyberbullying a nivel de víctimas, agresores y agresores victimizados.

Los resultados muestran una presencia mayor de acoso escolar tradicional y un menor nivel de incidencia de cyberbullying. Un dato interesante es la presencia, aunque en porcentajes bajos, de niños y adolescentes víctimas tanto de bullying como de cyberbullying. No obstante, es pertinente destacar que en el grupo de estudio la incidencia del acoso escolar tradicional es mayor que el cyberbullying. A nivel del porcentaje de acoso escolar, este se encuentra dentro de los valores medios reportados para Latinoamérica, en tanto que el cyberbullying se encuentra dentro de los valores bajos en comparación a los reportados para Latinoamérica, Estados Unidos y Europa. Esta incidencia y relación es evidenciable en varios estudios; entre ellos el de Herrera-López *et al.* (2018) en su estudio biométrico sobre bullying y cyberbullying en Latinoamérica, visualizaron que numerosos estudios reportaron una prevalencia de bullying entre el 20 y el 30 por ciento (similar a lo reportado en EE.UU. y Europa). Con respecto al cyberbullying, se presentaba mayor diferencia en el rango; los valores oscilaban entre 2.5 y 42.5%, rangos que también van acordes a lo reportado en EE.UU. y Europa. Al comparar ambas prevalencias, del bullying y del cyberbullying, los autores sugieren por un lado la posibilidad de que existan dinámicas similares en el desarrollo y la ocurrencia de ambos fenómenos sin notables diferencias a pesar de las distancias culturales, idiomáticas y geográficas; y por otro. en el caso del cyberbullying que posiblemente la brecha tecnológica

entre países en vía de desarrollo y los desarrollados sea cada vez menor.

Muijs (2017) en un estudio realizado en Reino Unido reportó que el 21% de la muestra estudiada era víctima de bullying, mientras que el 11% informaba haber sido perpetradores de esta situación. García-Fernández, Romera-Félix, & Ortega-Ruiz (2016) consideran en función de los resultados de su investigación que el estar involucrados en problemas de cyberbullying parecería ser un factor relacionado con la implicación en problemas de acoso tradicional, dado que los agresores de cyberbullying tendían a ser víctimas en bullying tradicional y las víctimas a través de vía electrónica se catalogaban como agresoras y agresoras victimizadas de bullying tradicional. Posiblemente, entre las razones por las que se justificarían estas relaciones en las que los ciberagresores puedan ser víctimas de bullying tradicional, los autores adoptan la concepción de Ybarra & Mitchell (2004), quienes señalan que las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) cumplen un rol compensatorio de aquello que no pueden hacer cara a cara. En cuanto a las relaciones negativas entre estas dos variables, se distingue cómo el grupo de los no implicados en cyberbullying tampoco suelen estarlo en el bullying tradicional y viceversa. Herrera-López *et al.* (2017) encontraron que la agresión en bullying influyó de manera directa sobre la implicación en ciberagresión; de igual manera, la victimización incidió sobre la implicación en cibervictimización. Los autores sugieren que la participación en cyberbullying se ve influenciada parcialmente por la implicación en bullying tradicional, pero no en dirección opuesta; es decir, que si un adolescente está implicado en conductas de agresión a otros de forma tradicional (bullying), tiene más probabilidades de implicarse en ciberagresión, pero también de convertirse en cibervíctima.

En su investigación realizada en España donde participaron 346 sujetos de entre 12 y 18 años, Nacimiento & Mora-Merchán (2014) evidenciaron que el 51.5% de los participantes habían sufrido con baja frecuencia (un máximo de dos veces al mes) episodios de cibervictimización y el 47.2% episodios de bullying tradicional. Sin embargo, las víctimas habituales (al menos una vez a la semana) comprendían el 28.2% en cyberbullying y el 40.6% de bullying tradicional.

En cuanto a la participación de los protagonistas en el acoso tradicional (bullying), existe una mayor presencia de víctimas, seguidas de víctimas y atacantes; mientras que con respecto al cyberbullying hay una mayor implicación de cibervíctimas, seguida de ciberagresores

victimizados y ciberagresores, que muestran una situación similar con el acoso escolar tradicional. El mayor nivel de implicación se presenta en las víctimas y agresores victimizados, no obstante, la implicación de las víctimas en el acoso escolar tradicional es mayor a la implicación de la cibervíctima; data que coincide con lo encontrado por varias investigaciones como la de Herrera-López *et al.* (2017). Esto autores realizaron su estudio en la ciudad de Pasto, Colombia, con la participación de 1931 adolescentes que cursaban la educación secundaria. Estos autores concluyeron que la implicación total en este fenómeno fue del 41.9%, en donde el 23.4% de los estudiantes eran víctimas, el 4.5% agresores y el 14% agresores victimizados.

García-Fernández *et al.* (2016) identificaron que el 76% de los estudiantes investigados mostraron una implicación en el fenómeno para todos los roles, siendo los más activos (víctimas, agresores y agresores victimizados) aquellos que presentaron índices de participación bajos; las víctimas mostraron un índice de 12.4%, agresores de 19.9% y agresores victimizados de 15.4%. Para el cyberbullying, los datos presentaron una menor frecuencia; concretamente, el 31.2% de los escolares se autodenominó como implicado en alguno de los diferentes roles. Los datos evidenciaron que el 9.3% había sido víctima, un 5.5% agresores y un 3.4% agresores victimizados.

El *segundo objetivo* consistía en identificar las manifestaciones de violencia desde la percepción de las víctimas y de los agresores.

Se evidencia una coincidencia desde la perspectiva de la cibervíctima y ciberagresor referente a que la tipología de cyberbullying con mayor incidencia son los insultos electrónicos y la exclusión; la exclusión también presentaba un alto nivel de incidencia en el acoso escolar tradicional desde la perspectiva del agresor. Respecto al bullying tradicional se evidencia tanto desde la perspectiva de la víctima cuanto del agresor como principales manifestaciones de acoso la verbal directa y la física (Aftab, 2006; Giménez *et al.*, 2013; Ortega-Ruiz, 1997; Olweus, 1989; Willard, 2005). Los resultados coincidentes con los de Acosta & Cisneros (2019), quienes identificaron como principal tipología de acoso escolar la verbal directa a través de manifestaciones centradas en los insultos, apodos, chismes y hablar mal de alguien. En cuanto al cyberbullying, la data es similar a la presentada por Machimbarrena & Garaigordobil (2018) quienes evidencian como principales manifestaciones de cibervictimización la recepción de mensajes ofensivos/insultantes, las llamadas anónimas para asustar, el chantaje y la difamación. En cuanto a la ciberagresión, identifican la presencia de un mayor porcentaje de envío de mensajes ofensivos/insultantes y la realización de llamadas anónimas con la finalidad de asustar. Parecería ser que el acoso verbal, manifestado en la presencia de insultos es un denominador común tanto en el bullying tradicional y el cyberbullying.

El *tercero de los objetivos* iba dirigido a comparar la implicación en bullying y cyberbullying entre hombres y mujeres, entre niños de 10 a 11 años y adolescentes entre 12 y 15 años, y entre los diferentes grados.

Los resultados ligados al sexo identifican que existe una mayor implicación de los niños y adolescentes varones en los roles de víctimas y agresores victimizados de bullying. A nivel de cyberbullying existe una mayor implicación de los ciberagresores victimizados. Por tanto, el rol de agresor victimizado tanto en bullying como en cyberbullying presentan un mayor nivel de implicación a nivel del sexo masculino, data coincidente con otros estudios a nivel de Latinoamérica. Es así que Herrera-López *et al.* (2017) evidenciaron que los estudiantes varones son en mayor medida víctimas, agresores y agresores victimizados. Giménez *et al.* (2013) identifican un 9.8% de agresores con un ligero predominio de niños (55.3%) en comparación a las niñas (44.7%).

En cuanto a la edad no existen diferencias estadísticamente significativas a nivel de la implicación de los estudiantes del grupo de estudio en los roles de bullying. En lo referente a cyberbullying los ciberagresores victimizados de 12 a 15 años presentan un mayor nivel de implicación; data que corresponde con investigaciones a nivel de Latinoamérica, especialmente en Colombia en donde Herrera-López *et al.* (2017) encontraron asociación significativa en los agresores victimizados de 14 y 15 años. García-Fernández *et al.* (2016) coincide también que los estudiantes de 14 y 15 años presentan mayor implicación como cibervíctimas y ciberagresores.

En lo referente al grado de escolaridad no se presentan diferencias estadísticamente significativas en los roles de bullying de los estudiantes encuestados. No obstante, a nivel de cyberbullying se evidenció que los estudiantes de noveno, décimo y octavo año de EGB presentan un mayor nivel de implicación como cibervíctimas; resultado semejante al evidenciado por Herrera-López *et al.* (2017), quienes identificaron que los estudiantes de octavo de básica se implicaron más como agresores y como agresores victimizados.

Los hallazgos revisten importancia para el ámbito educativo y social, dado que pueden servir como línea base contextualizada para generar procesos de prevención e intervención psicoeducativa y psicosocial de este fenómeno.

Las limitaciones de este estudio son propias de su carácter transversal de análisis, que puede reducir la posibilidad de las inferencias relacionales, al igual que la interpretación de la direccionalidad de las influencias visualizadas. Se presentan además limitaciones ligadas al uso y autoaplicación de las encuestas.

5. CONCLUSIONES

En términos generales se evidencia que el 28.3% de la muestra estudiada ha sido víctima de acoso escolar, en su mayoría de la forma tradicional y en menor medida han sido víctimas de cyberbullying o de ambas, en cuanto a las manifestaciones desde la perspectiva de las víctimas. En el acoso escolar tradicional se evidenciaron primordialmente los insultos, mientras que en el cyberbullying se suma la violencia relacional (exclusión). Sin embargo, también se encontró presente en un

porcentaje considerable la violencia verbal por medio de la propagación de chismes, rumores e insultos, y la violencia física. Tanto en víctimas de bullying como en los agresores victimizados, de bullying tradicional y cyberbullying, existen diferencias significativas entre hombres y mujeres, siendo en su mayoría varones. En cuanto a la relación con la edad no existen diferencias significativas ni en víctimas ni agresores, tanto en bullying tradicional como en cyberbullying; más sí lo hay en ciberagresores victimizados, teniendo en su mayoría edades comprendidas entre los 12 y 15 años. Otra de las diferencias significativas que se encontró fue en cibervíctimas con respecto al año de educación básica al que pertenecen, siendo mayoritariamente de 9no. 10mo y octavo.

AGRADECIMIENTO

Este estudio se realizó en el marco del proyecto «Estrategias de afrontamiento de los niños víctimas frente a situaciones de acoso escolar y cyberbullying», ganador del XV concurso de proyectos de investigación del Departamento de Investigación de la Universidad de Cuenca (DIUC) para quien va nuestro agradecimiento. De igual manera un agradecimiento muy especial a la Coordinación Zonal 6 de Educación y a las autoridades educativas de la Instituciones Educativas participantes que posibilitaron la ejecución de la presente investigación.

BIBLIOGRAFÍA

- Acosta, P., & Cisneros, J. (2019). El fantasma del acoso escolar en las unidades educativas. *CienciaAmérica: Revista de Divulgación Científica de la Universidad Tecnológica Indoamérica*, 8(1), 74-89. doi: 10.33210/ca.v8i1.207
- Aftab, P. (2006). *Stop Cyberbullying: How cyberbullying works?* Recuperado de http://www.stopcyberbullying.org/how_it_works/direct_attacks.html
- Barlett, C. P. (2019). Chapter 2 - Cyberbullying. Traditional bullying. and aggression: A complicated relationship. En Barlett, C. P. (Ed.). *Predicting Cyberbullying* (pp. 11-16). doi: 10.1016/B978-0-12-816653-6.00002-9
- Beltrán-Catalán, M., Zych, I., Ortega-Ruiz, R., & Llorent, V. (2018). Victimization through bullying and cyberbullying: Emotional intelligence. severity of victimisation and technology use in different types of victims. *Psicothema*, 30(2), 183-188. doi: 10.7334/psicothema2017.313
- Brighi, A., Ortega, R., Pyzalski, J., Scheithauer, H., Smith, P. K., Tsormpatzoudis, H., ..., et al. (2012a). *European Cyberbullying Intervention Project Questionnaire (ECIPQ)* (Unpublished questionnaire). Recuperado de <https://www.bullyingandcyber.net>
- Brighi, A., Ortega, R., Pyzalski, J., Scheithauer, H., Smith, P. K., Tsormpatzoudis, H., ..., Thompson, J. (2012b). *European Bullying Intervention Project Questionnaire (EBIPQ)* (Unpublished manuscript). University of Bologna.
- Castro, A., & Reta, C. (2014). *Bullying blando. bullying duro y cyberbullying: Nuevas violencias y consumos culturales*. (1ª ed., 1ª reimp.) Rosario, Argentina: Homo Sapiens Ediciones.
- Del Rey, R., Casas, J. A., Ortega-Ruiz, R., Schultze-Krumbholz, A., Scheithauer, H., Smith, P., ..., Plichta, P. (2015). Structural validation and cross-cultural robustness of the European Cyberbullying Intervention Project Questionnaire. *Computers in Human Behavior*, 50, 141-47. doi: 10.1016/j.chb.2015.03.065
- Garaigordobil, M., Martínez-Valderrey, V., Páez, D., & Cardozo, G. (2015). Bullying y cyberbullying: diferencias entre colegios públicos-privados y religiosos-laicos. *Pensamiento Psicológico*, 13(1), 39-52.
- García-Fernández, C., Romera-Félix, E., & Ortega-Ruiz, R. (2016). Relations between Bullying and Cyberbullying: Prevalence and co-occurrence. *Pensamiento Psicológico*, 14(1), 49-61. doi: 10.11144/Javerianacali.PPSI14-1.rbcp
- Giménez, A., Arnaiz, P., & Maquilon, J. (2013). Causas, medios y estrategias de afrontamiento en la agresión online en escolares de Murcia (España). *Texto Livr: Linguagem e Tecnologia*, 6(2), 2-18. doi: 10.17851/1983-3652.6.2.2-18
- González-Calatayud, V. (2018). Victims of cyberbullying in the Region of Murcia: a growing reality. *Journal of New Approaches in Educational Research*, 7(1), 10-16. doi: 10.7821/naer.2018.1.245
- Herrera-López, M., Romera, E. M., & Ortega-Ruiz, R. (2018). Bullying y cyberbullying en Latinoamérica. Un estudio bibliométrico. *Revista Mexicana de Investigación Educativa*, 23(76), 125-155.
- Herrera-López, M., Romera, E., & Ortega-Ruiz, R. (2017). Bullying y cyberbullying en Colombia: Coocurrencia en adolescentes escolarizados. *Revista Latinoamericana de Psicología*, 49(3), 163-172. doi: 10.1016/j.rlp.2016.08.001
- Kaplan, K. (2018). Perspectivas de la violencia escolar: Sociología de la educación. En Verdugo, M. (Presidencia). *1er Simposium - Taller: Violencia escolar. la expresión de una sociedad herida*. Simposium llevado a cabo en la Facultad de Filosofía, Letras y Ciencias de la Educación de la Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador.
- Machimbarrena, J., & Garaigordobil, M. (2018). Acoso y ciberacoso en educación primaria. *Psicología Conductual*, 26(2), 263-280.
- Mendoza, B. (2014). *Bullying: los múltiples rostros del acoso escolar*. (2ª ed.). México: Editorial Pax México.
- Minuchin, S., & Fishman, C. (1997). *Técnicas de terapia familiar*. (5ª reimp.). Barcelona, España: Paidós Ibérica S.A.
- Nacimiento, L., & Mora-Merchán, A. (2014). El uso de estrategias de afrontamiento y habilidades metacognitivas ante situaciones de bullying y cyberbullying. *European Journal of Education and Psychology*, 7(2), 121-129. doi: 10.1989/ejep.v7i2.184

- Muijs, D. (2017). Can schools reduce bullying? The relationship between school characteristics and the prevalence of bullying behaviors. *British Journal of Educational Psychology*, 87(2), 255-272. doi: 10.1111/bjep.12148
- Olweus, D. (1989). Prevalence and incidence in the study of antisocial behavior: Definition and measurements. En Klein, M. (Ed.). *Cross-National Research in Self-Reported Crime and Delinquency* (pp. 187-202). Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- Ordóñez, M., Mora, J., & Pacheco, M. (2016). Estudio descriptivo: Perfil psicológico del niño víctima de acoso escolar. *Revista Médica HJCA*, 8(2), 108-116. doi: 10.14410/2016.8.2.ao.18
- Ortega-Ruiz, R., Del Rey, R., & Casas, J. (2016). Evaluar el bullying y el cyberbullying validación española del EBIP-Q y del ECIP-Q. *Psicología Educativa*, 22(1), 71-79. doi: 10.1016/j.pse.2016.01.004
- Ortega-Ruiz, R. (1997). *La convivencia escolar: qué es y cómo abordarla. Programa educativo de prevención de maltrato entre compañeros y compañeras. España*. Consejería de Educación y Ciencia. Junta de Andalucía. Recuperado de <http://creena.educacion.navarra.es/web/bvirtual/2018/06/01/la-convivencia-escolar-que-es-y-como-abordarla/>
- Twardowska-Staszek, E., Zych, I., & Ortega-Ruiz, R. (2018). Bullying and cyberbullying in polish elementary and middle schools: Validation of questionnaires and nature of the phenomena. *Children and Youth Services Review*, 95, 217-225. doi: 10.1016/j.childyouth.2018.10.045
- Ybarra, M., & Mitchell, K. (2004). Youth engaging in online harassment: associations with caregiver-child relationships. Internet use. and personal characteristics. *Journal of Adolescence*, 27(3), 319-336. doi: 10.1016/j.adolescence.2004.03.007
- Willard, N. (2005). *Educator's guide to cyberbullying and cyberthreats*. Center for Safe and Responsible Internet Use. 1-16. Recuperado de bcloud.marinschools.org/SafeSchools/Documents/BP-CyberBandT.pdf



Artículo científico / Research paper

Evaluación espaciotemporal del cambio global en el Departamento Sur de Haití, de 1973 al 2017

Evaluation of the global spatiotemporal change in the South Department of Haiti, from 1973 to 2017

Marco A. Martínez¹ , Christian Birkel¹, Édgar Espinoza¹ , Melvin Lizano¹, Edes Philippe², Laura Benegas²

¹ Escuela de Geografía y Observatorio del Agua y Cambio Global, Universidad de Costa Rica.

² Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza; WATERCLIMA-LAC, Gestión y zonas costeras, Costa Rica.

Autor para correspondencia: marco.martinezmartinez@ucr.ac.cr

Fecha de recepción: 4 de junio de 2019 - Fecha de aceptación: 11 de septiembre de 2019

RESUMEN

Haití es una nación con grandes retos ambientales y sociales. La alta deforestación, falta de planificación territorial, inestabilidad política y económica, y una población ejerciendo presión sobre recursos naturales son factores característicos de Haití que se manifiestan en su dinámica territorial. En este artículo analizamos los procesos de cambio de cobertura de la tierra en el Departamento Sur de Haití de 1973 al 2017 y la relación de estos procesos con ciertas variables socioeconómicas y biofísicas asociadas al cambio global y sus componentes. Para ello utilizamos imágenes satelitales Landsat, repositorios de datos públicos, metodologías para el análisis de la direccionalidad del cambio, así como análisis estadísticos correlacionales. Los resultados muestran una fluctuación marcada en el cambio de áreas de cultivos, una relación parcial del suelo desnudo con zonas deforestadas, así como una disminución en la cobertura boscosa tras una serie de eventos hidrometeorológicos y sociopolíticos presentados en Haití. Además, encontramos que el cambio de matorral se asoció significativamente con las tasas de cambio de población, de temperatura y del Índice de Desarrollo Humano (IDH), mientras que la tasa de cambio de precipitación influyó significativamente en el cambio de la cobertura de cultivos. Por otra parte, los cambios en el suelo desnudo tuvieron relación significativa con la tasa de cambio de población. Finalmente, ninguna de las variables consideradas se asoció significativamente con el cambio espaciotemporal de las coberturas urbano y bosque.

Palabras clave: Cambio Global, Cambio de cobertura de la tierra, Teledetección, Haití.

ABSTRACT

Haiti as a country faces great environmental and societal challenges. Haiti is characterized by a high deforestation, lack of territorial planning, political and economic instability, and a growing population exerting pressure on natural resources. In this article, we analyze the historic land cover change in the Southern Department of Haiti from 1973 to 2017 and the relationship to socioeconomic and biophysical variables. All variables under change together are considered as the holistic definition of global change. We used Landsat satellite images, public data repositories and statistical correlations to analyze the directionality of the above-mentioned global change in Haiti. The results showed a marked fluctuation of crop areas, a relation of bare soil with deforested areas, as well as a decrease in forest cover after a series of hydrometeorological and sociopolitical events. In addition, we found that changes in brush area were significantly associated with the rates of change in population, temperature and the Human Development Index (HDI), while the rate of change in rainfall significantly influenced the change in crop coverage. On the other hand, changes in bare soil had a significant relationship with the rate of population change. Finally, none of the variables considered was significantly correlated with the spatiotemporal change of urban and forest coverage.

Keywords: Global Change, Land cover change, Remote Sensing, Haiti.

1. INTRODUCCIÓN

El cambio de uso y cobertura de la tierra en el Planeta representa uno de los mayores contribuyentes a los procesos de cambio ambiental global (Geist & Lambin, 2001; Lambin, Geist, & Lepers, 2003; Duarte *et al.*, 2006;

Lambin & Geist, 2006). Estas dinámicas de cambio responden en gran parte a las crecientes presiones antropogénicas por el aumento poblacional y demanda de recursos. No obstante, diversos científicos sostienen que el cambio de uso y cobertura de la tierra está diversamente conducido, principalmente, por el sistema económico



imperante, dinámicas demográficas locales y globales, el sistema político, el desarrollo tecnológico acelerado, modos y estilos de vida social, alteraciones climáticas y biofísicas del Planeta y la dinámica del uso del suelo (Geist & Lambin, 2001; Lambin *et al.*, 2001; Veldkamp & Lambin, 2001; Carr, 2004; Zondag & Borsboom, 2009; Goldewijk & Ramankutty, 2010; Lambin & Meyfroidt, 2011). Los cambios no ocurren de forma homogénea y suceden a largo plazo. Estos factores conductores del cambio pueden dividirse en muchas fuerzas impulsoras específicas que afectan elementos puntuales del sistema terrestre (Zondag & Borsboom, 2009).

Según datos del Departamento de Asuntos Económicos y Sociales (DAES) de la ONU (2017), el Planeta Tierra en el año 2017 albergaba a 7.750 millones de personas, estimando para el 2050 más de 9.700 habitantes. Para la región de Latinoamérica y Caribe, para el 2017 había 646 millones de personas (DAES, 2017), con una proyección de 780 millones para el 2050. Por tanto, todo indica que el aumento poblacional a nivel mundial continuará ejerciendo presión sobre los recursos naturales y con ella la dinámica territorial, especialmente en los trópicos, con consecuencias a nivel global (Houghton, 1994).

Haití es país con retos importantes de esta índole, incluido el aumento poblacional, presión sobre escasos recursos naturales, alta deforestación, inestabilidad sociopolítica y económica, desastres socio-naturales, entre otros, que a su vez crean realimentaciones que agravan más la condición de vulnerabilidad socioeconómica y ambiental del país (González & Manero, 2011). Aunado a esto, ha habido un deficiente manejo político de las autoridades del Gobierno ante estos importantes desafíos (PNUMA: Programa de las Naciones Unidas para el Ambiente, 2013). Por ejemplo, los sistemas de gobierno de Haití han incidido en los últimos siglos en una disminución considerable de su cobertura forestal, proceso que inició desde la época colonial y actualmente no se vislumbra un compromiso estatal por fortalecer y crear políticas públicas ambientales. En el siglo XV, el 85% del territorio haitiano estaba cubierto de bosques (Barthelemy & Barthelemy, 2003); hoy en día la cubierta forestal comprende entre el 2 y el 4% del territorio (PNUMA, 2013), en gran medida debido a la sobreutilización del recurso maderero para extraer carbón para uso doméstico y energético. Del mismo modo, no debe obviarse el aumento poblacional que Haití presenta (1.6% de crecimiento anual), alcanzando para el año 2015 unos 10,711,067 habitantes (Banco Mundial, 2017) en tan sólo 27,750 km² (386 habitantes/km²).

Lo anterior lleva a una reflexión sobre los posibles factores ambientales, socioeconómicos y políticos que inciden en estos cambios en el paisaje haitiano, particularmente en el Departamento Sur de Haití. Por eso, en este estudio quisimos analizar el cambio global y sus componentes, cuantificando los cambios, examinando su direccionalidad, y explorando su interrelación con ciertas variables biofísicas y sociales en este sitio de estudio. Aquí conceptualizamos el cambio global como cambios acumulativos en componentes biofísicos por acciones antropogénicas y naturales que se dan a nivel local/regional pero que tienen alcance global, por la naturaleza sistémica del funcionamiento terrestre (Meyer & Turner, 2002). Esta interpretación del cambio global, entonces, lleva implícita las interacciones de las actividades antropogénicas y de procesos naturales, las

cuales confieren una gama amplia de cambios en las condiciones físicas de la Tierra (Rounsevell, 2006; Equihua Zamora, Hernández Huerta, Pérez Maqueo, Benítez Badillo, & Ibañez Bernal, 2015).

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Área de estudio

El Departamento Sur de Haití (DS) está ubicado al suroeste de Haití y comprende un área de aproximadamente 2,600 km² (Fig. 1). Cuenta con una población de 774,976 habitantes, representando poco más del 7% del total de población del país.

El DS es catalogado como de alta vulnerabilidad social y ambiental, y está enmarcado en un sistema político inestable (González & Manero, 2011). Entre las actividades económicas principales destacan la agricultura básica, ganadería y mano de obra para servicios. El clima es tropical, con dos épocas lluviosas, una de abril a junio, y otra de octubre a noviembre. El DS registra una pluviosidad anual promedio de 1703 mm y una temperatura anual promedio de 27°C (Administración Nacional Oceánica y Atmosférica, 2017). Gran parte de la lluvia entre julio y octubre se debe al aporte de humedad de los ciclones tropicales y huracanes que se originan en el Océano Atlántico y Mar Caribe. Además, Haití experimenta épocas interanuales donde eventos hidrometeorológicos son influyentes en la dinámica natural interna del país.

Al igual que la mayoría del país, esta zona está caracterizada por una alta deforestación y daño ambiental, siendo la erosión y la baja fertilidad de los suelos problemas determinantes (WaterClima-LAC, 2017). Al noroeste de Les Cayes, en el DS, se encuentra el 68% del total del área del Parque Nacional Pic Macaya (Fig. 1), sitio importante para la población haitiana por conservar los pocos remanentes de bosque primario y especies de flora y fauna endémicas de La Española. Sin embargo, se estima que hay más de 53,000 personas habitando dentro de la jurisdicción del parque (Ministère de L'environnement, 2015), lo que incide en la deforestación del área protegida.

2.2. Procesamiento de imágenes satelitales

Como primera etapa de esta investigación, se llevó a cabo una clasificación supervisada para obtener mapas de cobertura de la tierra del DS. Para ello se utilizaron imágenes Landsat (dos "bloques" para cubrir toda el área de estudio) obtenidas del repositorio web de USGS-NASA, en el rango anual 1973-2017. Al final, los años de análisis fueron 1973, 1979, 1986, 1992, 2000, 2007, 2013 y 2017, tomando como criterios de selección la cobertura nubosa menor al 10%, una disponibilidad temporal de ambos bloques lo más consecutivo posible (idealmente anual o quinquenal), así como la ausencia de alteraciones radiométricas ni de radiancia en píxeles.

El preprocesamiento de las imágenes satelitales se efectuó con el software de código abierto QGIS versión 2.18 Las Palmas, bajo la aplicación Semi Automatic Classification (SCP). Como primer paso en el preprocesamiento, se efectuó la corrección atmosférica para eliminar píxeles

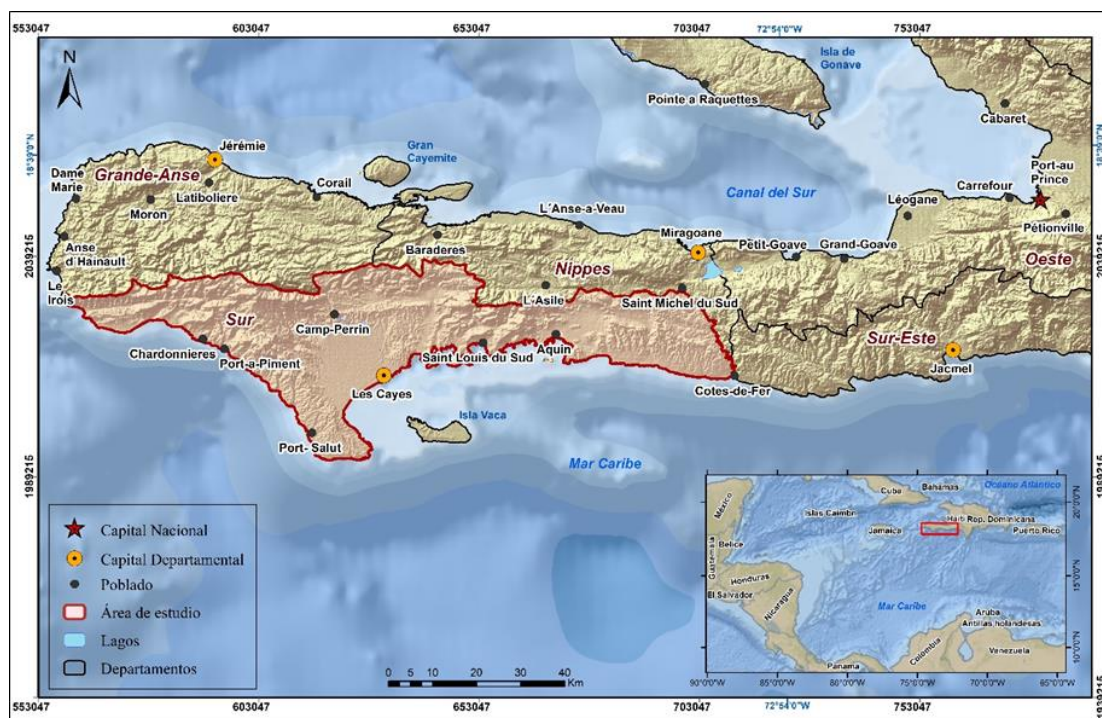


Figura 1. Zona de ubicación del estudio enmarcado en rojo en un contexto regional (cuadro inferior).

oscuros con el método DOS-1 (Chávez, 1988); luego, se realizó el juego de bandas de color verdadero (para los proyectos Landsat 4, 5, 7 y 8) y falso color (para los proyectos Landsat 1, 2 y 3); finalmente, se creó el mosaico de bloques de imágenes satelitales que cubren el área de estudio. Al final, mediante el software *Geomática* y su herramienta “*Smart GeoFill*” se logró reducir la nubosidad en las imágenes satelitales a un porcentaje promedio de 10%. Para esto, se debió contar con al menos otro bloque de imágenes satelitales para todos los años en estudio.

Posterior al preprocesamiento, se realizó una clasificación no supervisada del DS con el algoritmo *K-means*, con las siguientes clases de cobertura: cuerpos de agua, urbano o infraestructura, cultivos, bosque, pastos arbolados y suelo desnudo. Para verificación de la clasificación final, se comprobaron y reconocieron en campo aquellas zonas en las no había seguridad de existencia de una determinada cobertura, con el fin de obtener una clasificación supervisada basada en el algoritmo de Máxima Verosimilitud para todos los años en estudio. Ambas clasificaciones se realizaron con el software ERDAS IMAGINE 2015.

2.3. Cuantificación del cambio de cobertura y determinación de la direccionalidad de cambio

Los mapas producto de la clasificación supervisada fueron luego utilizados para calcular las tasas de cambio desde el año 1973 al 2017. Para este cálculo se utilizó la fórmula propuesta por la FAO (1996), adaptada por Ruiz, Savé, & Herrera (2013):

$$(TDA): Tasa = \left[\frac{S_2}{S_1} \right]^{\frac{1}{n}} - 1 \quad (1)$$

donde: TDA: tasa de cambio anual; S_2 = superficie fecha 2; S_1 = superficie en la fecha 1; n = es el número de años entre las dos fechas.

Con estas tasas y a través del álgebra de mapas se creó la cartografía de direccionalidad que indica la transición de una cobertura inicial a otra posterior, tomando como base el año 1973 y el año final el 2017. La direccionalidad de cambio se define aquí como la tendencia transicional en cobertura de un año a otro para un espacio determinado. Cabe resaltar que se determinó una direccionalidad única solo entre estos dos puntos de tiempo. El método de direccionalidad se centró entonces en establecer las transiciones de cobertura mediante una matriz de creación propia basada en la asignación de un sistema de codificación para cada cobertura. Esta matriz se elaboró con la herramienta *Combine* del *ArcGis 10.5*.

2.4. Análisis estadístico

La Tabla 1 detalla los repositorios de datos socioeconómicos y climáticos utilizados para el análisis estadístico. Para cada una de las variables, se calculó la tasa de cambio antes descrita (Ecuación 1).

Para examinar la correlación entre las variables y el cambio de cobertura de la tierra, se corrió una correlación de Spearman (Ecuación 2) debido a que la distribución de los datos no era normal. Se eligieron aquellos coeficientes de correlación mayores a ± 0.6 , y donde existía una alta significancia entre las variables correlacionadas ($p > 0.1$). Por tanto, la ecuación de correlación utilizada fue:

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n d_i^2}{n^3 - n} \quad (2)$$

donde: r_s = coeficiente de correlación Spearman; d = diferencia entre los rangos (X-Y); n = total de datos.

Tabla 1. Repositorios de datos libres para descargar las variables.

Variable	Repositorio y enlace web
Censos poblacionales	Institut Haïtien de Statistique et d'Informatique (IHSI) (http://www.ihsi.ht/produit_demo_soc.htm)
Temperatura y lluvia	National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) (https://www.esrl.noaa.gov/psd/repository/entry/show?entryid=e570c8f9-ec09-4e89-93b4-babd5651e7a9)
Índice de Desarrollo Humano	United Nations Development Programme (UNDP) (http://hdr.undp.org/es/countries/profiles/HTI)
PIB	Comisión Económica para América Latina y Publicaciones Estadísticas (CEPAL) (http://interwp.cepal.org/sisgen/ConsultaIntegrada.asp?IdAplicacion=6yidTema=131yidIndicador=2204yidioma=e)

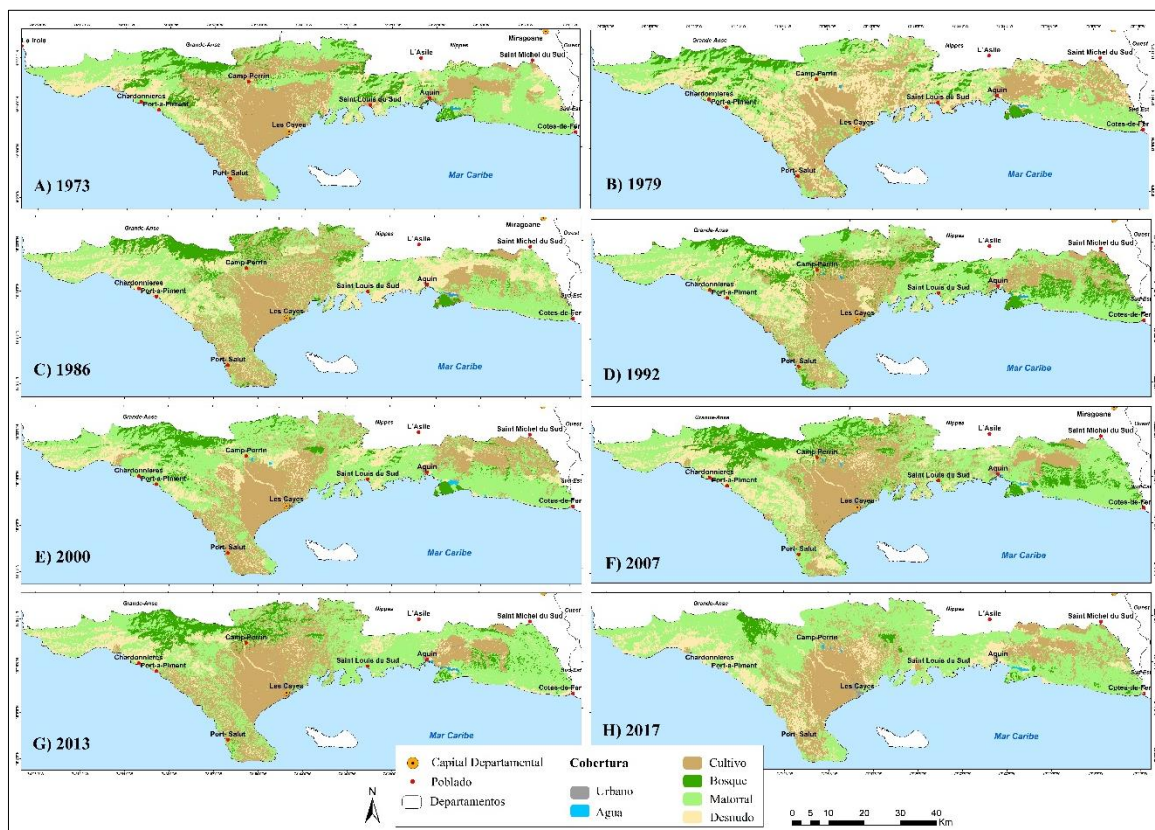


Figura 2. Serie de tiempo de la cobertura de la tierra en el Departamento Sur de Haití, de 1973 al 2017.

También se realizó una regresión lineal múltiple (RLM) (Ecuación 3) para examinar la influencia de las variables en los cambios de las diferentes coberturas. El análisis RLM se trabajó con el software SigmaPlot v.13, donde se permite relacionar las tasas de cambio de las variables con las tasas de cambio de coberturas determinadas de una manera más automatizada. La ecuación de la RLM se muestra a continuación:

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + \dots + b_n x_n + \varepsilon_i \quad (3)$$

donde: y = variable dependiente (tasa de cambio de cobertura); $x_1, x_2, x_3 \dots x_n$ = variables independientes; $b_0, b_1, b_2, \dots b_n$ = coeficientes de regresión.

Es importante recalcar que por ser los datos no-paramétricos se usó la correlación de Spearman, sin embargo, se revisó la normalidad de las series para trabajar con RLM y al ser datos anuales no se hallaron mayores inconvenientes en la ejecución de las fórmulas.

3. RESULTADOS

3.1. Dinámicas de cambio de cobertura de la tierra en el DS

El análisis de los mapas de cobertura de la tierra (Fig. 2) determinó que, en el DS, y para el período estudiado, han predominado las coberturas de matorral, cultivos, y suelo desnudo respectivamente. Se evidenciaron zonas que desde el año 1973 hasta el 2017 se mantuvo la cobertura, tales son los casos de las áreas de matorrales entre Aquin y Côtes-de-Fer en el sector sureste del DS y cerca de las colindancias con Grand Anse, en el noroeste del DS; el gran reservorio agrícola en la llanura Les Cayes y el valle en Lalane, al noreste de Aquin; y la pequeña mancha boscosa del Parque Nacional Pic Macaya.

La cobertura boscosa, por su parte, tuvo una tendencia a la disminución, mas no así la cobertura impermeable asociada a usos urbanos. Los cuerpos de agua se expandieron y disminuyeron en extensión, sin embargo, esta cobertura no se tomó en cuenta para las correlaciones

estadísticas ya que estas variaciones podrían depender de condiciones hidro-climáticas y geológicas propias de la región que no forman parte de esta investigación.

El área forestal mostró un promedio de área muy bajo entre los años 1973 y 2017, respecto a las anteriores coberturas, pero no superado por el urbano y cuerpos de agua, con los promedios de área mínimos dentro del DS. El promedio espacial en cuarenta y cuatro años fue dominado por la cobertura de matorral en todo el DS (45%), que mostró un comportamiento parcialmente estable en comparación a las áreas dedicadas a cultivos, con área promedio del 27% y con una dinámica fluctuante en su extensión espacial, así como, con el suelo desnudo y su oscilante extensión, con un área promedio del 20%. Es de resaltar que, la cobertura impermeable asociada a usos urbanos (Fig. 3A) mostró un evidente aumento del área a través del tiempo, sin embargo, denotó ser una cobertura mínima en extensión relativa al total de área del DS y con área promedio muy baja (0.2%).

Para el año 1986, sin embargo, se observa una disminución de la cobertura urbana (Fig. 3A) de 1.62 km², con una tasa de cambio de -7.57% anual, asociado a los daños infraestructurales causados por el Huracán Allen en el año 1980 (EcuRed, 2015; Haití-Référence, 2016). Luego, hubo una tendencia de crecimiento de la mancha urbana desde el año 1990 hasta el 2017, pero a ritmos variables. Entre el 2007 y el 2013, por ejemplo, hubo una tasa de cambio de 0.16% anual para esta cobertura, es decir, creció solo 0.07 km², lo que en parte se explica por los efectos del terremoto del año 2010.

La cobertura de cultivo mostró una dinámica muy fluctuante (Fig. 3B). Hubo cuatro eventos en particular a nivel país que parecen haber incidido en la variación de área en esta cobertura: una gran sequía en 1986 que propició una disminución, un periodo de estabilidad económica hacia finales de los noventa aplicada por el UNSMIH (United Nations Support Mission in Haiti) que aumentó la extensión, un golpe de estado a inicios de los

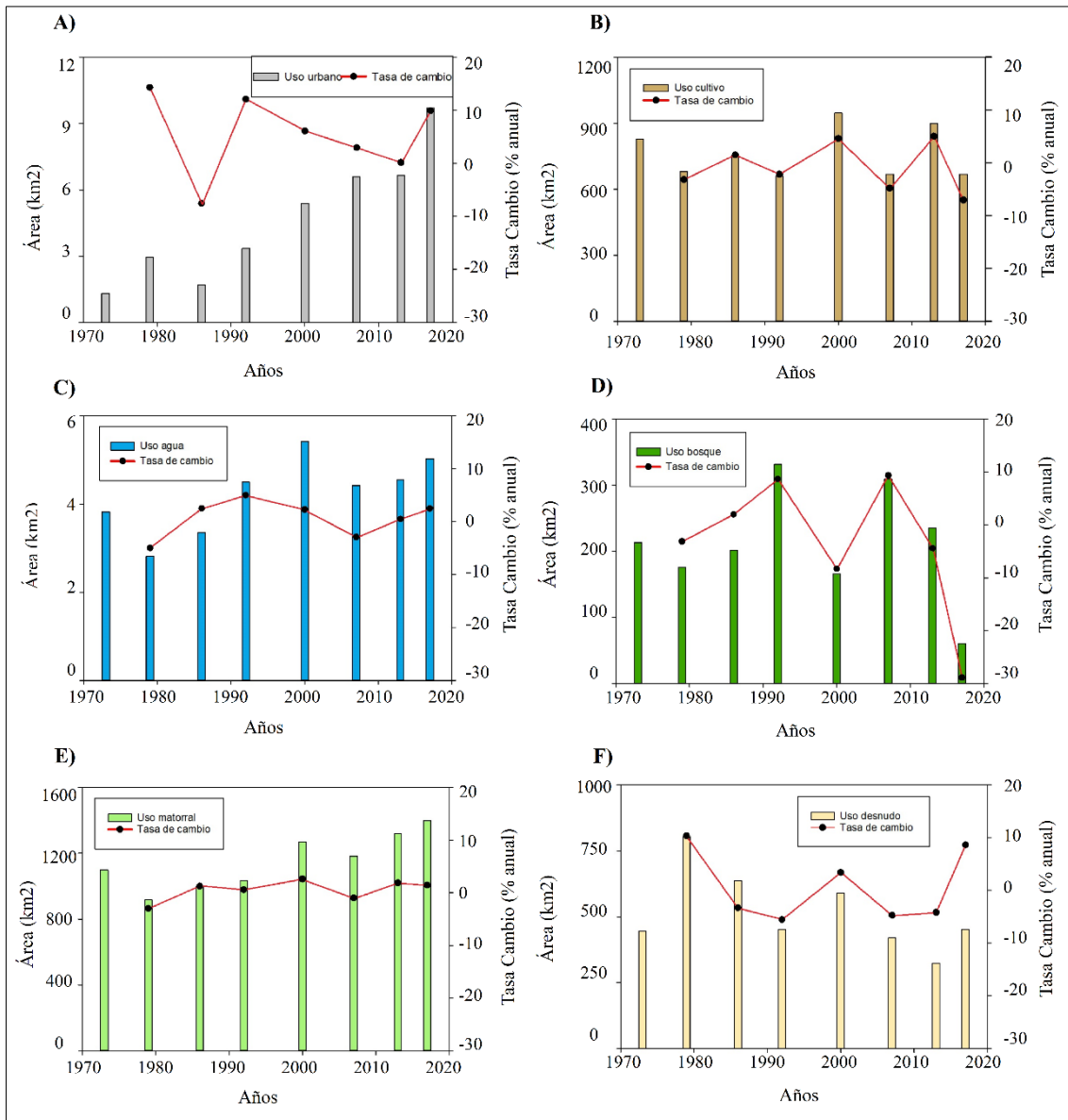


Figura 3. Gráficos de las áreas y tasas de cambio por cobertura por año.

2000 que propició una disminución, y finalmente el huracán Matthew en el año 2016 que también afectó considerablemente las zonas de cultivos.

Los cuerpos de agua, como era de esperarse, presentaron fluctuaciones interanuales a raíz de la dinámica climática propia de la región, las condiciones física y químicas del agua y la estacionalidad en las imágenes satelitales utilizadas (temporadas de huracanes, época de lluvias convectivas, ENOS, época seca, etc.); sin embargo, en general muestran un aumento en todo el período de estudio (Fig. 3C). La cobertura boscosa tiende hacia la disminución en el período 1973-2017, mostrando también un comportamiento irregular en su patrón de cambio. Para el caso de esta cobertura, resaltan dos escenarios: un primero, entre los años 1992 y 2000, donde hubo procesos de deforestación importante vinculados a crisis económica y política entre 1991 y 1994 y el huracán Gordon en 1994 y cuyas consecuencias perduraron hasta años después; un segundo escenario, entre los años 2007 y 2017, que involucró una serie de eventos naturales que llevaron a otra gran ola de deforestación en la zona. Entre los eventos naturales destacan los huracanes Gustav (2008), Ike (2008), Sandy (2012) y Matthew (2016), así como el terremoto del año 2010. La cobertura boscosa entre los años 2013 y 2017, por ejemplo, disminuyó a un ritmo promedio de un 29% anual.

La cobertura de matorral muestra una dinámica de cambio más estable respecto a los demás (Fig. 3E). Sin embargo, entre 1973 y el 2017, sostuvo un aumento de 0.6% anual (un total de 300 km² para el período). Como ya se mencionó, para el año 2017 el matorral mostró ser la cobertura dominante en todo el DS comprendiendo el 44% del total del área. Por otra parte, el suelo desnudo exhibe amplias variaciones en el período estudiado (Fig. 3F), con

posibles influencias como la crisis política y económica de la primera mitad de los noventa reflejada en un aumento anual del 3.4% entre los años 1992 y 2000. También se registra un aumento importante en área de esta cobertura entre los años 2013 y 2017 (a un ritmo de 9% anual) a raíz de la deforestación ocasionada por eventos naturales ya mencionados anteriormente.

3.2. Dinámicas en la direccionalidad del cambio

Para analizar las dinámicas de direccionalidad del cambio en las coberturas, se utilizaron una serie de mapas con base en una matriz codificada según cobertura. Con estos mapas, se pudo determinar mejor dónde una cobertura ganó y dónde perdió terreno. La Figura 4, por ejemplo, muestra las dinámicas de cambio espaciotemporal de la cobertura boscosa desde 1973 hasta el año 2017, particularmente un balance orientado hacia la pérdida forestal. El bosque presentó direccionalidades de cambio hacia todas las otras coberturas acá analizadas; es decir, las áreas con pérdida de bosque luego transaccionaron a coberturas de matorral, suelo desnudo, urbano, pastos y cuerpos de agua.

La Figura 5 muestra las áreas que fueron sometidas a un cambio de cobertura, así como las que no experimentaron cambios durante cuarenta y cuatro años, independientemente de la direccionalidad. Es de destacar que las áreas que no presentaron cambios históricos de cobertura son asociadas, en su mayoría, a áreas agrícolas, donde es posible que no hayan confluído factores naturales y sociales que motivasen hacia un cambio de cobertura.

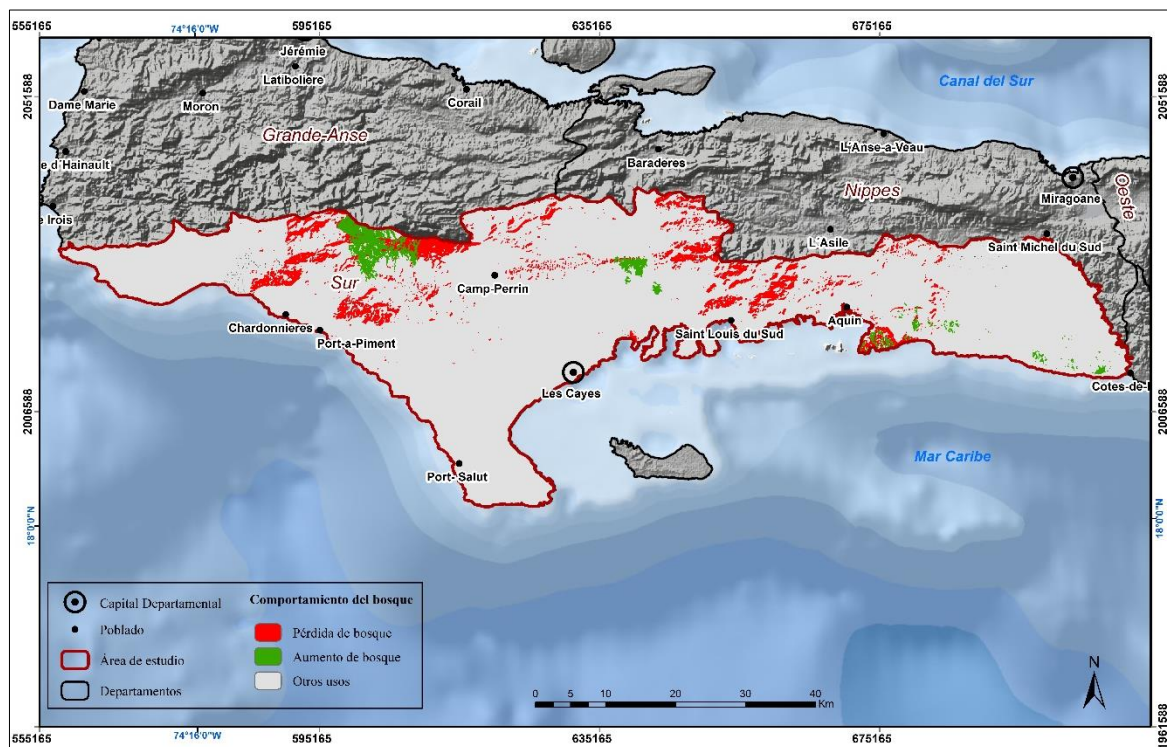


Figura 4. Comportamiento espacial de la cobertura de bosque, del año 1973 al año 2017.

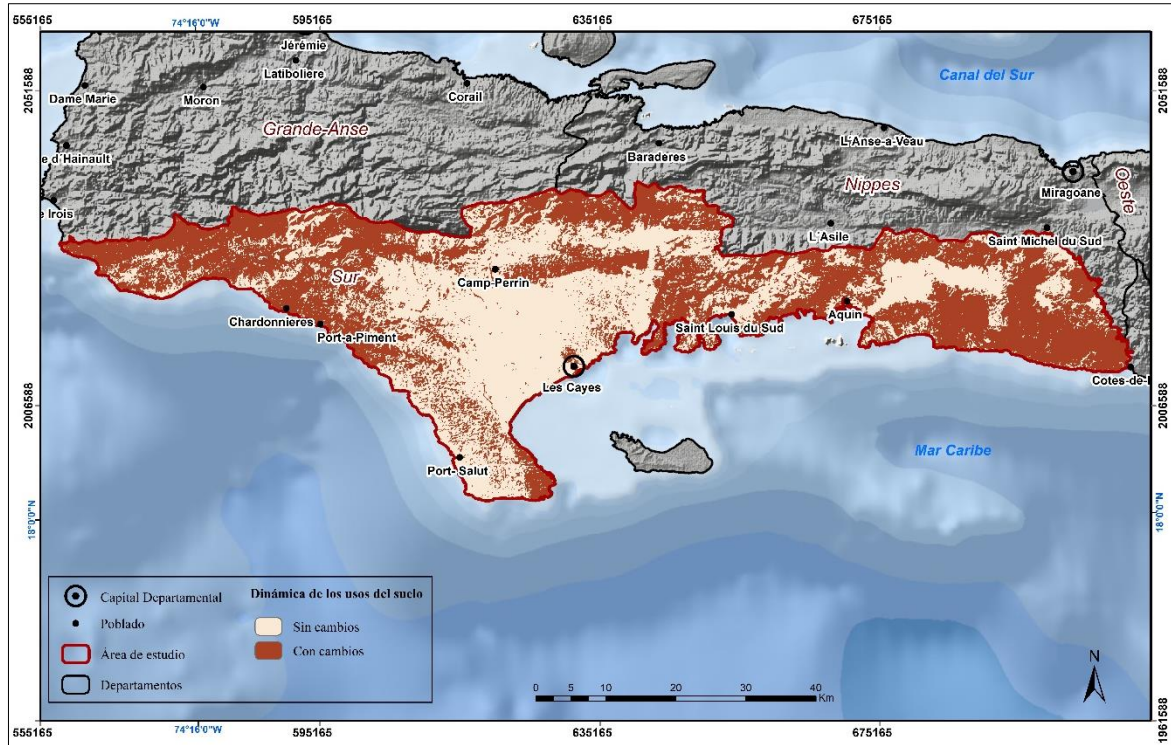


Figura 5. Estabilidad o cambio de la cobertura de la tierra, del año 1973 al año 2017.

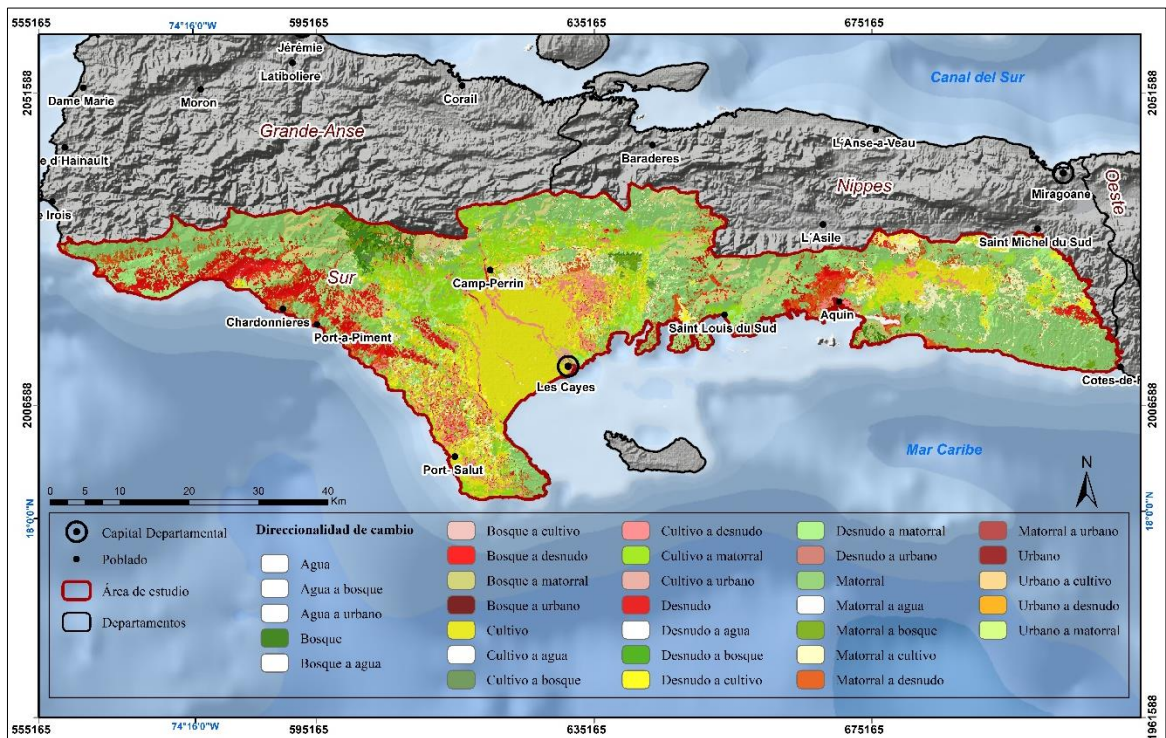


Figura 6. Direccionalidad de cambio de la cobertura de la tierra, 1973-2017. Departamento Sur de Haití

La Figura 6 detalla la direccionalidad de cambio entre las coberturas para el período 1973-2017. En tonalidades verdes se representan aquellos cambios en direccionalidad donde se ganó algún tipo de vegetación (de una cobertura sin vegetación hacia bosque o matorral), mientras que en tonos amarillos se representa la direccionalidad hacia un uso de cultivo y en tonos rojos hacia una pérdida de

vegetación (de bosque o matorral hacia otras coberturas). El 23% del Departamento Sur (615 km²) es más vulnerable a la degradación ambiental, ya que en el año 1973 presentaba alguna cobertura con vegetación (bosque, matorral o cultivo), y para el año 2017 cambiaron a áreas cubiertas de suelo desnudo, infraestructura urbana y residencial o cultivos rudimentarios

3.3. Análisis estadístico

Resultó una correlación positiva entre la cobertura urbana, el matorral y la población, con una significancia de $p=0.01$, la cobertura de cultivo mostró una alta correlación con la tasa de cambio en la precipitación, con $p=0.05$. De la misma forma, se identificó una correlación significativa entre el cambio del suelo desnudo y la tasa de cambio de población con $p=0.08$, y la cobertura de matorral mostró una alta correlación con tres variables: tasa de cambio de la población, con $p=0.003$, tasa de cambio de la temperatura y el IDH ($p=0.04$ para ambos). Además, no se encontró correlación significativa entre los cambios de cobertura de bosque e infraestructura/urbano con las variables consideradas; es decir, ninguna de las variables parece influir en el cambio de dichas coberturas para el período estudiado. Las demás variables no alcanzaron un nivel de correlación mínimo. Se trató de un ejercicio para encontrar relaciones entre variables, lo que no representa una causa al cambio de alguna cobertura.

Tabla 2. Correlaciones significativas de variables seleccionadas.

Cobertura	Variable	R	<i>p</i>
Urbanos	Población	0.86	0.01
Cultivo	T.C precipitación	0.71	0.05
	T.C población	0.87	0.003
Matorral	T.C temperatura	0.95	0.04
	T.C. IDH	0.98	0.04
Desnudo	T.C población	0.66	0.08

4. DISCUSIÓN

4.1. La utilidad de sensores remotos para detectar cambios de cobertura de la tierra en territorios con recursos limitados

Una herramienta que indudablemente ha dado un empuje significativo al estudio del cambio global es la teledetección desde satélites orbitales (Duarte *et al.*, 2006; Chuvieco, 2002). Uno de los principales usos de estos sensores remotos en el área ambiental ha sido el monitoreo de la cobertura de la tierra y la cuantificación de su cambio (Banskota *et al.*, 2014; Chuvieco, 2002). Por ejemplo, los instrumentos de observación de la Tierra han sido ampliamente utilizados en la evaluación y el seguimiento de la dinámica forestal en el espacio y en el tiempo de manera continua. Además, dada la compleja dinámica espacial y temporal del cambio global, las series temporales de observación son indispensables en investigaciones sobre este tema, pues permiten estudiar patrones de cambio.

Estas funciones de los instrumentos de teledetección son especialmente importantes para procesos de planificación territorial y toma de decisiones en general en sitios difíciles de acceder o con recursos limitados para el monitoreo constante de los cambios en el paisaje. Bajo tales fundamentos, la presente investigación replicó metodologías de diversos estudios en donde el objetivo era clasificar imágenes (Ayala & Menenti, 2001; Chuvieco, 2002; Martínez, 2005; Nazareno, 2014; Sacristán, 2006; Tovar, 2013) y cuantificar el cambio de cobertura de la

tierra (Falcón, 2014; Lambin, Geist, & Lepers, 2003; López, Balderas, Chávez, Juan, & Gutiérrez, 2014; Mas *et al.*, 2004; Mas, Velázquez, & Couturier, 2009; Ponce-Opazo, 2010; Rindfuss *et al.*, 2015; Ruiz *et al.*, 2013), pero aplicado a territorios donde la calidad y cantidad de información espacial es limitada, como es el caso de Haití.

Los datos geospaciales en países en vías de desarrollo son escasos, incompletos, o de acceso restringido. El uso de sensores remotos y de productos espaciales de libre acceso (como los utilizados en esta investigación) generan ventajas y oportunidades de desarrollo en todos los sectores estatales, ya que ayudan a proveer información útil y precisa para tomar decisiones acertadas. Sin embargo, el uso de tecnología espacial es un desafío importante para los entes estatales y privados en países con recursos limitados, al no contar con el personal adecuado y la infraestructura tecnológica básica para tratar dicha información (Di Martino, Iodice, Pansera, Riccio, & Ruello, 2007), lo que investigaciones como la nuestra, pone a disposición los datos para acceso abierto. Los datos de sensores remotos ofrecen una amplia cobertura espacial de información multitemporal, vitales para el manejo, asesoría y monitoreo de recursos naturales, además que permite el seguimiento y estudio en desastres socioambientales, cambio climático y degradación ambiental, entre otros (Pramanik, 1993). Por lo tanto, reconocemos las limitaciones relacionadas a la cantidad de variables sociales y biofísicas utilizadas en esta investigación, en gran medida debido a la falta de disponibilidad de datos confiables para Haití.

4.2. La relación de cambios de cobertura de la tierra con otros factores sociales y naturales para una caracterización del cambio global

Esta investigación examinó la relación entre ciertas variables sociales y biofísicas con el cambio de cobertura de la tierra en el DS de Haití. En efecto, el estudio del cambio global implica considerar las interrelaciones complejas entre factores sociales y biofísicos y las manifestaciones en el espacio y tiempo de estas interrelaciones. También conlleva el considerar cómo los eventos socioambientales a escalas subglobales inciden de forma directa o indirecta en los patrones de los sistemas terrestres a nivel global. En esta investigación, se examinaron las interacciones entre componentes ambientales y socioeconómicas para el DS de Haití, como parte de una dinámica global donde los cambios a escalas más finas son acumulativos y llegan a incidir en el funcionamiento de sistemas de soporte de vida a escalas mayores, incluida la global.

Consideramos importante contextualizar los resultados obtenidos en esta investigación con el fin de situarlos mejor entre las dinámicas de cambio a nivel regional y mundial. La deforestación, es clave a la hora de comparar casos. En Europa, por ejemplo, cerca de 8.8 millones de hectáreas de bosque natural en Europa fueron deforestadas entre 2010-2015 (Fern, 2017), un área similar a Suecia. En África se han perdido 5,264,000 ha (51% del continente) de la cobertura forestal, mientras que en Asia aproximadamente 454,000 ha (4% del continente) y en Latinoamérica alrededor de 4,588,000 ha (45% de la región) entre los años 1990 y 2000 (Geist & Lambin, 2001). En los últimos 300 años de existencia humana, se estima que se ha perdido entre un 15 y 30% de la cobertura forestal por actividades agropecuarias (Klein-Goldewijk

& Ramankutty, 2010; Turner, 1988). Entretanto, la tasa de cambio en la cobertura forestal en la región tropical del Planeta del año 1990 al 2010 fue de -0.36 en promedio (D'Annunzio, Lindquist, & MacDicken, 2017). La deforestación sigue siendo una apremiante problemática ambiental en muchas regiones del Planeta, en especial en zonas tropicales, con causas directas como la expansión de la mancha urbana, expansión agrícola y ganadera, y extracción maderera, así como causas indirectas como demandas de mercado, dinámicas migratorias, y políticas gubernamentales (Geist & Lambin, 2001; Taubert *et al.*, 2018; Watson *et al.*, 2000). De hecho, entre los años 2000 y 2005, la deforestación tropical se correlacionó positivamente con el aumento de la población urbana y las exportaciones de productos agrícolas (DeFries, Rudel, Uriarte, & Hansen, 2010).

Para el caso específico de Haití, y según datos de PNUMA (2013), existe entre un 2 y 4% de bosque en la actualidad. Sin embargo, Churches, Wampler, Sun, & Smith (2014) confirman que, para todo el país, existe un 29.4% de cobertura boscosa, basado en sensado remoto de alta definición. En el DS en particular, en el año 2017, presentó un 2.3% de cobertura forestal, según datos de nuestra investigación. Tomando como base a los resultados de Churches *et al.* (2014), el DS cuenta con el 8.16% del bosque en Haití. Jeune, de Souza, Rocha Franceline, Fernandes Filho, & Crusoé Rocha (2018) revelaron que, en la región oeste de Haití, la tasa de cambio del bosque fue de -3.4% entre los años 2000 y 2014, y en el DS, datos de nuestra investigación reportó un leve crecimiento de 2.5% en la tasa de cambio del bosque.

En la cuenca Fonvèrèt, al suroeste de Haití, la deforestación fue mayormente propiciada por la instauración de SHADA (The Société Haitienne-Américaine de Développement Agricole) para sembrar caucho desde 1941 (Versluis & Rogan, 2009), y en el DS la deforestación la consideramos una problemática poscolonial. La transformación de coberturas boscosas en el Pic Macaya, que pasaron a ser suelo desnudo y tierras agrícolas, fueron causadas por la colonización agraria en búsqueda de suelos para siembra de hortalizas y acciones políticas desde antes de 1987 (Vital, 2008), hecho que en la presente investigación se constata puntualmente con la direccionalidad de cambio (Fig. 6). Esto hace indicar que, en Haití la dinámica de la cobertura forestal no es homogénea, y los procesos de deforestación están en función de factores biofísicos y sociales propios de cierta región.

La tasa de cambio de la precipitación condujo a un posible aumento de la tasa de cambio de las áreas con cultivos. Por otro lado, la tasa de cambio de la población propició un aumento en la tasa de cambio del suelo desnudo, lo que hace pensar en el efecto que ejerció el crecimiento poblacional sobre los recursos del DS, modificando la cobertura de la tierra. La variabilidad climática y la dinámica poblacional son factores que ejercen cambios directos en la cobertura de la tierra (Zondag & Borsboom, 2009; Lambin *et al.*, 2001).

Los resultados aquí presentados también ayudan a identificar patrones espaciotemporales en la deforestación en el DS. Por ejemplo, los mapas evidencian los pocos remanentes de áreas forestales, así como una trayectoria de deforestación que se explica por acontecimientos sociohistóricos de larga data desde épocas coloniales (Agencia Suiza para Desarrollo y Cooperación, 2016; González & Manero, 2011; PNUMA, 2013; Vitale, 1987).

Es decir, en Haití la deforestación a mediana y gran escala data de la época colonial y, en la actualidad, se continúa esa tendencia hacia la pérdida de cobertura forestal.

Sin embargo, la determinación de las causas de los procesos de deforestación trascendía el alcance de esta investigación, y ante los pocos de estudios que modelen esta causalidad en Haití, son necesarias investigaciones en esta línea. Se estima que esta problemática está estrechamente ligada al uso de madera como fuente de energía en hogares de escasos recursos, como producto comercial de venta hacia lo interno y al exterior de Haití, así como también para instaurar espacios agrícolas rudimentarios y crear asentamientos poblacionales informales (González & Manero, 2011). No obstante, a pesar de contar con una limitante de datos espaciales para el país, se lograron identificar los espacios alterados ambientalmente, lo que sienta una base para fundamentar leyes y reglamentos en pro del manejo de los recursos naturales de Haití.

5. CONCLUSIONES

En esta investigación se logró expresar la dinámica espaciotemporal del cambio de cobertura de la tierra en el DS, y mediante la cartografía de direccionalidad de cambio, se evidenciaron las zonas más vulnerables ante el cambio de cobertura boscosa, donde los efectos por la erosión del suelo, la escorrentía superficial y la degradación del suelo tienden a ser más prominentes. La distribución de estas zonas es espacialmente focalizada, es decir, no se puede concluir que todo el DS expone un daño ambiental considerable por el cambio de cobertura sin planificación. Sin embargo, más del 50% del DS (incluyendo las partes altas) presenta coberturas vegetativas (matorral y parches de bosque) que ayudan a la retención del suelo e infiltración del agua, pero menos del 10% del departamento muestra una recuperación de áreas boscosas. Esto es en parte facilitado por un déficit de políticas ambientales de inversión económica estatal, aunado a la poca conciencia ambiental de la población. Esto ayuda a concluir, con base a los resultados, que los factores socioeconómicos fueron los más influyentes en el cambio de cobertura de la tierra, y, por tanto, a la vulnerabilidad ambiental del DS.

Por último, esta investigación contribuye a la comprensión de cómo influyeron los eventos naturales, políticos, económicos y sociales en el cambio de cobertura de la tierra en el DS de Haití, siendo esto útil para los tomadores de decisiones a diversos niveles de gobernanza, particularmente aquellos encargados de liderar un desarrollo social y económico a través de la planificación territorial y un manejo sostenible de los recursos naturales.

AGRADECIMIENTOS

Al proyecto WaterClima-LAC, Gestion de Zonas Costeras, a través del cofinanciamiento de la Unión Europea, por el apoyo financiero. Al M.Sc. William Watler de CATIE, por su guía y ayuda en campo. Los autores agradecen el apoyo parcial del Observatorio del

Agua y Cambio Global (OACG) de la Escuela de Geografía, Universidad de Costa Rica.

REFERENCIAS

- Administración Nacional Oceánica y Atmosférica, NOAA. (2017). *Climate data repository*. U.S. Department of Commerce. <https://www.noaa.gov/>
- Agencia Suiza para Desarrollo y Cooperación, CONSUDE. (2016). Preservación del bosque de los pinos en Haití: Haití: Salvar los árboles - mejorar las vidas. *Latin Brief*, 2, 4 pp. Disponible en: https://www.eda.admin.ch/dam/deza/es/documents/publikationen/briefing-papers/latin-brief-haiti-160615_ES.pdf
- Ayala, R. M., & Menenti, M. (2001). Metodología para la búsqueda del mejor clasificador de imágenes de satélite. *Teledetección, Medio Ambiente y Cambio Global*, 469-472. Disponible en: <http://www.aet.org.es/congresos/ix/Lleida103.pdf>
- Banco Mundial. (2017). Haití. Disponible en: <http://datos.bancomundial.org/pais/haiti>
- Banskota, A., Kayasthan, N., Falkowski, M. J., Wulder, M. A., Froese, R. E., & White, J. C. (2014). Forest monitoring using Landsat time series data: A review. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 40(5), 362-384. doi.org/10.1080/07038992.2014.987376
- Barthelemy, M., & Barthelemy, C. (2003). *Haiti, la perle nue*. Vents d'ailleurs, France.
- Carr, D. L. (2004). Factores demográficos proximales y deforestación en las fronteras agrícolas tropicales. *Population and Environment*, 25(6), 1-41.
- Chávez, P. S. (1988). An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data. *Remote Sensing of Environment*, 24(3), 459-479. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(88\)90019-3](https://doi.org/10.1016/0034-4257(88)90019-3)
- Churches, C. E., Wampler, P. J., Sun, W., & Smith, A. J. (2014). Evaluation of forest cover estimates for Haiti using supervised classification of Landsat data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 30, 203-216. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2014.01.020>
- Chuvieco, E. (2002). *Teledetección Ambiental*. Barcelona, España: Editorial Ariel.
- D'Annunzio, R., Lindquist, E. & MacDicken, K. (2017). Global forest land-use change from 1990 to 2010: An update to a global remote sensing survey of forests. *Forest Resources Assessment Working Paper*, 187, 1-14. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-i5098e.pdf>
- DeFries, R. S., Rudel, T., Uriarte, M., & Hansen, M. (2010). Deforestation driven by urban population growth and agricultural trade in the twenty-first century. *Nature Geoscience*, 3, 178-181. doi:10.1038/NNGEO756
- Departamento de Asuntos Económicos y Sociales, DAES. (2017). *World Population Prospects: The 2017 Revision*. Organización de Naciones Unidas. Nueva York. Disponible en: https://population.un.org/wpp/Publications/Files/WPP2017_KeyFindings.pdf
- Di Martino, G., Iodice, A., Pansera, M., Riccio, D., & Ruello, G. (2007). Remote sensing for developing countries: Landsat data and Gis. *Rivista Italiana di Telerilevamento*, 38, 3-13. Disponible en: <http://wpage.unina.it/gerardo.dimartino/papers/DiMartino.pdf>
- Duarte, C. M. (coord.) *et al.* (2006). *Cambio global: Impacto de la actividad humana sobre el sistema Tierra*. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Madrid, España. Disponible en: <http://digital.csic.es/bitstream/10261/27310/1/cambioGlobal.pdf>, 170 pp.
- EcuRed. (2015). *Desastres naturales en Haití*. Disponible en: https://www.ecured.cu/Desastres_naturales_en_Hait%C3%AD.
- Equihua Zamora, M., Hernández Huerta, A., Pérez Maqueo, O., Benítez Badillo, G., & Ibañez Bernal, S. (2015). Cambio global: el Antropoceno. *Ciencia Ergo-sum*, 23(1), 67-75. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5379210.pdf>
- Falcón, O. (2014). *Dinámica de cambio de uso/cobertura del suelo, en una región del Estado de Quintana Roo, México: El impacto de las políticas gubernamentales sobre el Manejo Forestal Comunitario* (Tesis de grado). Universidad Autónoma de México. Disponible en: <http://132.248.9.195/ptd2014/enero/0707773/0707773.pdf>
- Fern. (2017). *Tackling deforestation and forest degradation: a case for EU action in 2017*. Disponible en: <https://www.forestpeoples.org/sites/default/files/documents/deforestation-4.pdf>
- Geist, H. J., & Lambin, E. F. (2001). *What drives tropical deforestation? A meta-analysis of proximate and underlying causes of deforestation based on subnational case study evidence*. LUCR Report Series 4, 136 pp. CIACO, Universidad de Louvain, Louvain-la-Neuve, Bélgica. Disponible en: https://www.pik-potsdam.de/members/cramer/teaching/0607/Geist_2001_LUCR_Report.pdf
- González, M., & Manero, A. (2011). *El conflicto de Haití*. Conflictos Internacionales Contemporáneos. 291 pp. <https://publicaciones.defensa.gob.es/el-conflicto-de-haiti.html>
- Haití-Référence. (2016). *Catastrophes Naturels: Cyclones y Ouragans*. Disponible en: <https://www.haiti-reference.com/pages/plan/geographie-et-tourisme/milieu-naturel/desastres-et-accidents/cyclones-et-ouragans/>
- Houghton, R. (1994). The worldwide extent of land-use change. *BioScience*, 4(5), 305-313. <https://doi.org/10.2307/1312380>
- Jeune, W., de Souza, E., Rocha Franceline, M., Fernandes Filho, E. I., & Crusoé Rocha, G. (2018). *Land use and land cover dynamics in western Haiti*. In: 21WCSS: Proceedings of the 21st World Congress of Soil Science, 2018, August 12-17; Rio de Janeiro, Brazil: SBCS, Vol. II, p. 393. Disponible en: http://www.21wcsc.org/docs/Proceedings_of_the_21WCSS_Volume_II.pdf
- Klein-Goldewijk, K., & Ramankutty, N. (2010). Land use changes during the past 300 years. *Land use, land cover and soil sciences*, 1, 22 pp. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/>

- 242217587_Land_use_changes_during_the_past_300_years
- Lambin, E. F., Turner, B. L., Geist, H. J., Agbola, S. B., Angelsen, A., ..., *et al.* (2001). The causes of land-use and land-cover change: moving beyond the myths. *Global Environmental Change*, 11(4), 261-269. [https://doi.org/10.1016/S0959-3780\(01\)00007-3](https://doi.org/10.1016/S0959-3780(01)00007-3)
- Lambin, E., & Geist, H. (Eds.) (2006). *Land-use and land-cover change: Local processes and global impacts*. Springer, Alemania.
- Lambin, E., & Meyfroidt, P. (2011). Global land use change, economic globalization, and the looming land scarcity. *PNAS*, 8(9) 3465-3472. <https://doi.org/10.1073/pnas.1100480108>
- Lambin, E., Geist, H., & Lepers, E. (2003). Dynamics of land use and land cover change in tropical regions. *Annual Review of Environment y Resources*, 28, 205-245. doi:10.1146/annurev.energy.28.050302.105459
- López, V. H., Balderas, M. A., Chávez, M. C., Juan, J. I., & Gutiérrez, J. G. (2014). Cambio de uso de suelo e implicaciones socioeconómicas en un área mazahua del altiplano mexicano. *CIENCIA ergo-sum*, 22(2) 136-144. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5116566.pdf>
- Martínez, M. (2005). *Percepción Remota: Fundamentos de Teledetección espacial*. México: Comisión Nacional de Agua Subdirección General de Programación, Subgerencia de Informática y Sistema Geográfico del Agua. Jefatura de Control Cartográfico. Disponible en: <http://siga.cna.gob.mx/SIGA/Percepcion/Fundamentos%20de%20teledetecci%C3%B3n%20espacial.PDF>
- Mas, J-F., Velázquez, A., Díaz-Gallegos, J. R., Mayorga-Saucedo, R., Alcántara, C., ..., *et al.* (2004). Assessing land use/cover changes: a nationwide multirate spatial database for Mexico. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 5(4), 249-261. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2004.06.002>
- Mas, J., Velázquez, A., & Couturier, S. (2009). La evaluación de los cambios de cobertura/uso del suelo en la República Mexicana. *Investigación Ambiental*, 1(1), 23-39.
- Meyer, W., & Turner, B. (2002). The Earth transformed: trends, trajectories and patterns. En: Johnston R., Taylor, P., & Watts, M. (Eds.). *Geographies of global change: Remapping the world* (2ª ed.) (pp. 364-376). UK, Oxford: Blackwell.
- Nazareno, M. (2014). *Métodos de clasificación de imágenes satelitales para la determinación de usos del suelo agrícola en el Partido de Tandil (Provincia De Buenos Aires, Argentina)*. Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires. Disponible en: <http://www.formagro.com/recursos/descargas/Metodos-de-clasificacion-digital-de-imagenes-satelitales-para-clasificacion-de-uso-de-suelos.pdf>
- Ponce-Opazo, B. (2010). *Detección y análisis del cambio de uso del suelo en la zona centro - norte de la provincia de Capitán Prat, XI Región período 1984-2003*. Tesis de grado, Facultad de Ciencias Forestales y Recursos Naturales, Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile. Disponible en: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2010/fifp792d/doc/fifp792d.pdf>
- Pramanik, M. (1993). Satellite remote sensing and its application to the needs of developing countries: An Asian perspective. *Selected Papers on Remote Sensing, Satellite Communications, and Space Science*. Seminars of the United Nations Program on Space Applications, Vol. 4, 145-156. Disponible en: <http://adsabs.harvard.edu/full/1993UNPSA...4..145P>
- Programa de las Naciones Unidas para el Ambiente. (2013). *Haití-República Dominicana: Desafíos ambientales en la zona fronteriza*. Nairobi, Kenia: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Disponible en: https://postconflict.unep.ch/publications/UNEP_Haiti-DomRep_border_zone_SP.pdf
- Rindfuss, R. R., Entwisle, B., Walsh, S. J., An, L., Badenoch, N., ..., *et al.* (2015). Land use change: complexity and comparisons. *Journal of Land Use Science*, 3(1), 1-10. <https://doi.org/10.1080/17474230802047955>
- Rounsevell, M. (2006). Global environmental change. En: Geist, H. (Ed.), *Our Earth's Changing Land: An Encyclopedia of Land-Use and Land-Cover Change* (pp. 254-256). Estados Unidos: Greenwood Publishing Group.
- Ruiz, V., Savé, R., & Herrera, A. (2013). Análisis multitemporal del cambio de uso del suelo, en el Paisaje Terrestre Protegido Miraflores Moropotenté Nicaragua, 1993-2011. *Ecosistemas*, 22(3), 117-123. doi: 10.7818/ECOS.2013.22-3.16
- Sacristán, F. (2006). La teledetección satelital y los sistemas de protección ambiental. *AquaTIC*, 24, 13-41. Disponible en: http://www.revistaaquatic.com/aquatic/pdf/24_02.pdf
- Taubert, F., Fischer, R., Groeneveld, J., Lehmann, S., Müller, M. S., ..., *et al.* (2018). Global patterns of tropical forest fragmentation. *Nature*, 554, 519-522. doi:10.1038/nature25508
- Tovar, W. (2013). *Propuesta de clasificación de cobertura/uso de la tierra en los Andes*. Caso: cuenca del río Grita, Venezuela. Tesis de grado, Instituto de Ciencias Ambientales y Ecológicas (ICAE), Universidad de Los Andes, Venezuela. Disponible en: <http://www.saber.ula.ve/bitstream/123456789/39866/1/Tovar2013.pdf>
- Turner, B. (1988). The earth as transformed by human action. *The Professional Geographer*, 40(3), 340-341. <https://doi.org/10.1111/j.0033-0124.1988.00340.x>
- Veldkamp, A., & Lambin, E. (2001). Predicting land-use change. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 85, 1-6. doi:10.1016/S0167-8809(01)00199-2
- Versluis, A., & Rogan, J. (2009). Mapping land-cover change in a Haitian watershed using a combined spectral mixture analysis and classification tree procedure. *Geocarto International*, 25, 1-19. doi:10.1080/10106040902977584
- Vital, J. (2008). *Land Use/Cover Change Using Remote Sensing and Geographic Information Systems: Pic Macaya National Park, Haiti*. Master's Thesis, Michigan Technological University, 2008. <https://digitalcommons.mtu.edu/etds/138>

Vitale, L. (1987). Haití: Primera nación independiente de América Latina. *Revista EDM*, 43. Disponible en: <https://revistaedm.com/verNotaRevistaTeorica/516/haiti-primera-nacion-independiente-de-america-latina>

WaterClima-LAC. (2017). *Proyecto Piloto B. Aquin, Zona Costera Sur de Haití (Caribe)*. EuropeAid Project.

Watson, R. T., Noble, I. R., Bolin, B., Ravindranath, N. H., Verardo, D. J., & Dokken, D. J. (Eds.) (2000). *Land Use, Land Use Change and Forestry*. Cambridge, England: Cambridge University Press. Pp. 875. Disponible en: <https://www.ipcc.ch/report/land-use-land-use-change-and-forestry/>

Zondag, B., & Borsboom, J. (2009). *Driving forces of land-use change*. 49th ERS Conference, Lodz, Poland, 1-16. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/285854006_Driving_forces_of_land-use_change



Artículo científico / Research paper

Modelado hidrológico de un páramo andino venezolano con afloramientos rocosos usando TOPMODEL

Hydrologic modeling of a Venezuelan Andean páramo with rocky outcrops using TOPMODEL

Marilena Yeguez^{1,2} , Magdiel Ablan¹ , Wouter Buytaert³ , Dimas Acevedo⁴, Mayanín E. Rodríguez⁴, Daniel Machado⁴

¹ Centro de Simulación y Modelos (CESIMO), Universidad de los Andes, Mérida, Venezuela.

² Laboratorio de Prototipos, Universidad Nacional Experimental del Táchira, San Cristóbal, Venezuela.

³ Ingeniería Civil y Ambiental, Imperial College London, Londres, Reino Unido.

⁴ Instituto de Ciencias Ambientales y Ecológicas (ICAE), Universidad de los Andes, Mérida, Venezuela.

Autor para correspondencia: mariyeg@gmail.com

Fecha de recepción: 20 de junio de 2019 - Fecha de aceptación: 8 de octubre de 2019

RESUMEN

Los afloramientos rocosos en el páramo andino venezolano constituyen una unidad geomorfológica con un área considerable. Los procesos hidrológicos de esta área fuente no son representados por TOPMODEL. Por lo tanto, este estudio tuvo por objetivo mejorar la simulación hidrológica de TOPMODEL, específicamente la descripción del flujo superficial, mediante la incorporación de flujo de este tipo generado por el área fuente rocosa. Basado en el análisis de varias investigaciones, un parámetro a fue introducido para redireccionar a flujo superficial una fracción de la precipitación que cae sobre los afloramientos rocosos. Este parámetro fue calibrado, lo que condujo a una mejora de la eficiencia Nash-Sutcliffe en las fases de calibración y validación del modelo. Asumiendo un coeficiente de escorrentía de 1 en los afloramientos y de acuerdo con la calibración, la lluvia que cae en un 25% del área de afloramientos es redireccionada, posiblemente se trate del conjunto de afloramientos ubicados a lo sumo a 44 m de la red de drenaje. Sin embargo, otras interpretaciones son posibles, lo que requiere más investigación.

Palabras clave: TOPMODEL, modelado de cuenca, páramo andino, afloramientos rocosos.

ABSTRACT

The rocky outcrops in the Venezuelan Andean páramo constitute a geomorphological unit with a considerable area. The hydrologic processes of this source area are not represented by the TOPMODEL. This study aimed to improve the hydrological simulation of the TOPMODEL, specifically the description of overland flow, by incorporating flow of this type generated by the rocky source area. Based on the analysis of various researches a parameter a was introduced redirecting to overland flow a fraction of the precipitation falling on the rocky outcrops. This parameter was calibrated, what led to an improvement in Nash-Sutcliffe efficiency in the model calibration and validation phase. Assuming a runoff coefficient of 1 in the outcrops and according to the calibration, the rainfall that falls on 25% of the outcrop areas is redirected, possibly it is the set of outcrops located at most 44 m from the drainage network. However, other interpretations are possible, what requires further research.

Keywords: TOPMODEL, catchment modeling, Andean páramo, rocky outcrops.

1. INTRODUCCIÓN

Los estudios hidrológicos del páramo han sido desarrollados principalmente en Ecuador y Colombia. Estos páramos presentan marcadas diferencias en sus componentes biofísicos respecto a los páramos venezolanos que se caracterizan por ser páramos climáticamente estacionales y secos; con relieves abruptos y porcentajes importantes de afloramientos rocosos; con suelos jóvenes, graníticos, arenosos, poco profundos, sin estructura y de baja retención de agua; con un sistema en rosario de humedales y lagunas con alta conectividad

hídrica. Por tal razón, existe un vacío en el conocimiento hidrológico de los páramos venezolanos que no puede suplirse de forma directa con los estudios desarrollados en Colombia y Ecuador (Rodríguez, 2010). Una de las características distintivas de los páramos venezolanos es la presencia de afloramientos rocosos, conocidos como parte del lecho rocoso o de otro estrato que sobresale por encima de los sedimentos o del suelo que lo recubren (OMM & UNESCO, 2012).

Una descripción de la respuesta de los afloramientos rocosos a la lluvia y los diferentes factores que la controlan es presentada por Woo (2012), si la superficie



de la roca es impermeable y sin almacenamiento en la superficie, y la evaporación es insignificante, se puede producir un coeficiente de escorrentía de 1.0. Esta relación rara vez se alcanza por varias razones. El aumento del ancho de las fracturas aumenta la infiltración y reduce la escorrentía superficial. La disponibilidad de almacenamiento en la superficie de la roca retiene un poco de agua de lluvia. Incluso después de que se libere el exceso de agua, se satisfacen los requisitos de almacenamiento del afloramiento cuesta abajo antes de que pueda continuar la escorrentía. La disminución de la intensidad de la lluvia y el aumento de la duración del evento ofrecen más tiempo para la infiltración y para la evaporación. Las altas tasas de evaporación son efectivas para eliminar la película de agua producida por la lluvia en la superficie de la roca y para agotar el agua contenida en las depresiones de la superficie. Estos factores no son necesariamente independientes entre sí.

A una escala de cuenca, la escorrentía de los afloramientos forma parte de la escorrentía directa o componente de escorrentía rápida (junto con la precipitación directa en el canal y el flujo superficial desde zonas selladas y saturadas) contribuyendo en más de un 41% a la escorrentía total, durante condiciones de cuenca húmeda (Suarez, Okello, Wenninger, & Uhlenbrook, 2015). Un estudio más revelador es el de Burns *et al.* (2001) donde la escorrentía de un afloramiento que ocupa cerca de un tercio de las 10 ha de una cuenca en Georgia, dominó la escorrentía de caudal en condiciones de flujo máximo durante dos eventos de precipitación en el invierno de 1996. Este resultado difiere de los reportados en la mayoría de otros estudios, en cuencas forestales pequeñas, en las cuales el agua antigua o el agua subterránea dominan el flujo pico.

Se han modelado con TOPMODEL pequeñas cuencas caracterizadas por la presencia de afloramientos rocosos, obteniéndose ajustes buenos y aceptables respectivamente (Durand, Robson, & Neal, 1992; Seibert, Bishop, & Nyberg, 1997). Pero el comportamiento hidrológico de los afloramientos no fue modelado, para empezar el modelo usado es incapaz de distinguir dichas unidades geomorfológicas. Tampoco se reportó información sobre la extensión, ubicación u otras características de los mismos.

Un modelo que sí representa el comportamiento hidrológico de los afloramientos rocosos es el descrito y probado por Tarolli, Borga, & Fontana (2008) se trata de un modelo de deslizamiento superficial, que utiliza un índice de humedad cuasi dinámico para predecir la distribución espacial de la saturación del suelo en respuesta a una lluvia de duración específica. Como las partes superiores del paisaje están caracterizadas por afloramientos rocosos, se toma en cuenta las diferentes velocidades de propagación de la escorrentía a través de la roca desnuda y los elementos topográficos del suelo. El modelo se aplica en una cuenca en los Alpes italianos (1.47 km²), con afloramientos de roca de un 28%. Se determina que el modelo ofrece una mejora considerable con respecto al modelo cuasi dinámico no generalizado y el modelo de estado estacionario para predecir deslizamientos de tierra.

Lanni, McDonnell, & Rigon (2011) fomentan el uso de su índice topográfico dinámico suavizado para describir el componente de flujo subsuperficial lateral en modelos de generación de deslizamientos de tierra y modelos conceptuales de lluvia-escorrentía; en contraposición a los

índices topográficos derivados de la suposición de estado estacionario (especialmente cuando hay disponibles modelos de elevación digital de alta resolución).

Según Wilson & Gallant (2000) la idoneidad de estos índices como herramientas de aplicación general aún tiene que ser demostrada. Por lo tanto, existe la necesidad de seguir buscando representaciones apropiadas, modelos que simulen la escorrentía y cuantifiquen el efecto de los afloramientos rocosos. Los modelos en general son una herramienta útil para probar hipótesis sobre un sistema, inclusive en sistemas hidrológico (Buytaert & Beven, 2011). En la actualidad, una variedad de modelos hidrológicos, están siendo usados por la comunidad científica. Uno de estos modelos, TOPMODEL, concebido para pronóstico hidrológico en zonas templadas húmedas, intenta combinar los importantes efectos distribuidos de la topología de la red de canales y áreas de contribución dinámica con las ventajas de los modelos de cuenca simples con parámetros agregados (Beven & Kirkby, 1979).

TOPMODEL se ha usado para un primer intento de modelización en el valle principal de una microcuenca de páramo venezolano (Yeguez, Ablan, Acevedo, Rodríguez, & Machado, 2018); por ser un modelo hidrológico de base física (Durand *et al.*, 1992), adecuado para modelar el proceso de lluvia-escorrentía en cuencas con suelo poco profundo y topografía moderada (Devi, Ganasri, & Dwarakish, 2015), que fue usado satisfactoriamente en el páramo ecuatoriano y colombiano (Buytaert & Beven, 2011; Gil & Tobón, 2016). Si bien dicho valle se caracteriza por una marcada estacionalidad, los resultados obtenidos de la implementación de TOPMODEL no son del todo inaceptables, por lo que una mejor representación de los picos del hidrograma y un desplazamiento vertical de la curva de recesión pudieran hacer coincidir el hidrograma simulado con el observado.

Una manera de mejorar dichos resultados podría ser la representación de características de la cuenca que el modelo no considera, como es el caso de los afloramientos rocosos, que parecen influir de manera importante en la respuesta de la cuenca. Por lo tanto, TOPMODEL debe adaptarse para una adecuada simulación del proceso de lluvia-escorrentía en páramos con afloramientos rocosos. Afortunadamente, un número suficiente de desarrollos y cambios en los principios básicos del TOPMODEL original que han sido hechos, permiten describirlo como un "enfoque" en lugar de un modelo específico (Seibert *et al.*, 1997).

Si bien se están obteniendo buenos resultados en la aplicación de índices cuasi dinámicos y dinámicos, la verificación de campo ha mostrado que en el páramo el índice topográfico de TOPMODEL puede identificar las áreas saturadas. Este es el resultado de los gradientes de pendiente claros y los suelos poco profundos de las cuencas (Buytaert & Beven, 2009). Ya que estas características se presentan en el área de estudio, y dada la versatilidad del modelo TOPMODEL, esta investigación se propone modificarlo para incluir la representación de afloramientos rocosos, constituyéndose en un intento por modelar explícitamente la hidrología de estas unidades geomorfológicas en cuencas de páramo andino, unidades que también están presentes en el páramo ecuatoriano (Buytaert, Iñiguez, & De Bièvre, 2007; Buytaert & Beven, 2009; Buytaert & Beven, 2011).

2. MATERIALES Y MÉTODOS

En este apartado se presenta una breve descripción del área de estudio, de la estructura básica y principales flujos de TOPMODEL y de la modificación llevada a cabo. También se abordan otros aspectos, como los datos que estuvieron disponibles para el modelado y el preprocesamiento que estos requirieron. Finalmente, se describen las etapas del proceso de modelado que fueron cubiertas como parte de esta investigación.

2.1. Área de estudio

El área de estudio es el valle principal de la microcuenca de la quebrada de Miguaguó, sector Mixteque en Mérida, Venezuela, superficie de 3.62 km² sobre los 3600 m de altitud. Las precipitaciones allí presentan un régimen unimodal, con una marcada estacionalidad de dos a tres meses secos. El promedio anual de precipitación es 1170 ± 125 mm. Los eventos de precipitación son en promedio de 7 mm solamente (Rodríguez, Acevedo, Buytaert, Ablan, & De Bièvre, 2014), se caracterizan por ser de baja magnitud, poca intensidad y alta frecuencia (Rodríguez, 2010). Por otra parte, la radiación solar es fuerte 1200 W m⁻², especialmente durante la estación seca (Córdova, 2014).

Las formas de relieve dominantes son los till sobre laderas, unidad que abarca el 53% del área, seguido luego por los afloramientos rocosos (18%), till sobre el fondo de valle (17%) y lagunas y humedales sobre cubetas de sobre excavamiento (8%). El resto del área lo representan morrenas de retroceso y derrubios rocosos (Rodríguez *et*

al., 2014). Pero, según Córdova (2014) la unidad geomorfológica dominante es la ladera con manto coluvial (45%), seguido por afloramiento rocoso (20.2%). Según ambos autores y a pesar de las diferencias en los porcentajes, los afloramientos rocosos ocupan un segundo lugar. En la Figura 1 se muestran las distintas unidades geomorfológicas presentes en el área de estudio y seis clases de gradiente de la pendiente. Siendo la clase 30-60%, escarpado según la FAO (2009), la de mayor ocupación espacial (37% de la superficie total).

En los suelos hay predominancia de una alta fracción esquelética o gruesa sobre la fracción fina. En la fracción fina es la arena la que predomina, lo cual resulta en texturas gruesas (Franco arenoso y areno francoso). Además, los suelos en su horizonte superficial presentan alto contenido de materia orgánica de un 8 hasta 28%, estrechamente ligado a las pendientes; las pendientes menores a 5% tienen los mayores valores de materia orgánica (suelos de orden Histosol y suelos minerales del orden Inceptisol y algunos con características superficiales hísticas), y a medida que aumentan las pendientes disminuye los contenidos de materia orgánica (suelos minerales jóvenes, Entisoles e Inceptisoles) (Córdova, 2014).

Toda el área de estudio posee vegetación natural. La vegetación está conformada por arbustales-rosetales bajos, arbustales altos, humedales y bosques altoandinos. El tipo de vegetación dominante es el arbustal-rosetal bajo, el cual se distribuye uniformemente sobre toda el área. Las otras formaciones vegetales se disponen en parches, inmersas dentro de la vegetación anterior. La vegetación en la ladera derecha es predominantemente

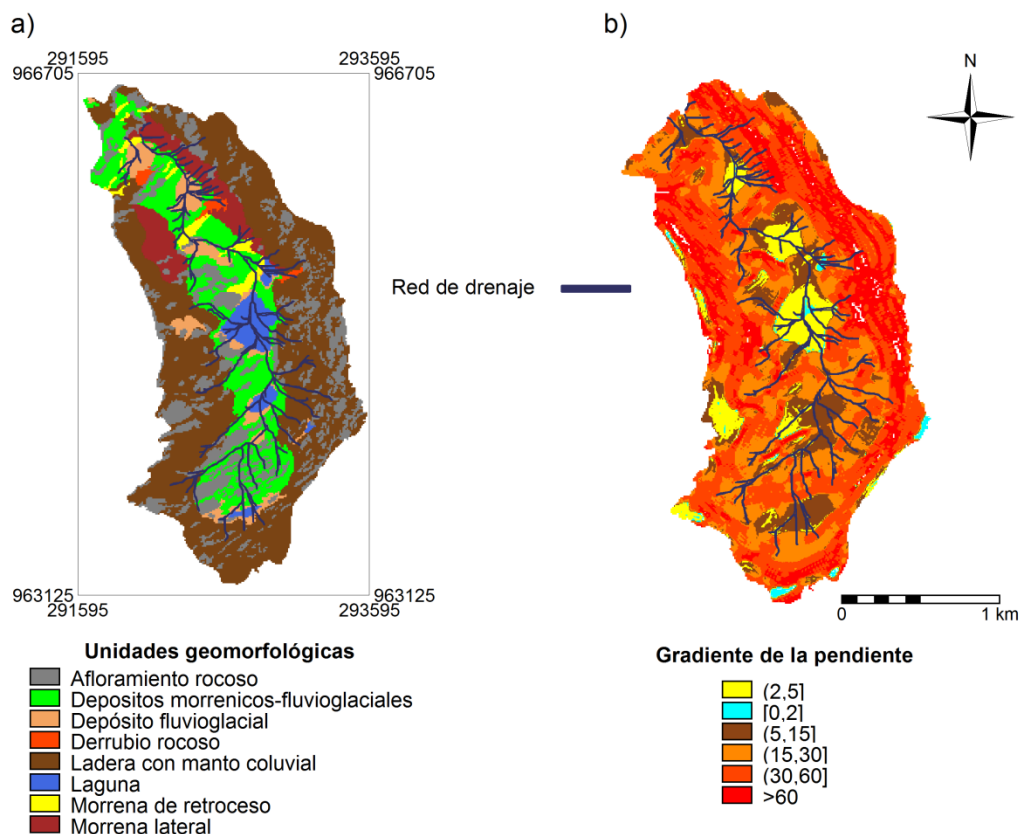


Figura 1. a) Unidades geomorfológicas; b) Gradiente de la pendiente en el área de estudio. Fuente: Córdova (2014) ajustado.

un arbustal-rosetal con un dosel espeso. Por otra parte, los fondos de valle y la ladera izquierda están cubiertos por un arbustal de dosel abierto con mayores porciones de suelo desnudo. Mientras que los humedales están dominados por vegetación de céspedes y ciénagas (Rodríguez, 2010), conformando estos un sistema en rosario junto a las lagunas (Rodríguez *et al.*, 2014).

2.2. TOPMODEL

Se usó una implementación en R de TOPMODEL, basada en la versión FORTRAN de Keith Beven de 1995 (Buytaert, 2009), cuyo código se encuentra disponible en la plataforma GITHUB (<https://github.com>). Su estructura y los flujos más importantes son ilustrados en la Figura 2a. En primer lugar, se calcula el flujo para infiltración, f , a partir de la precipitación y usando el modelo Green y Ampt (1911). Dicho flujo ingresa al suelo por medio de un primer compartimiento denominado zona radicular. Además, se calcula el flujo superficial por exceso de infiltración, fex , como la diferencia entre la precipitación y f . La evapotranspiración, Ea , es calculada como una función de la evapotranspiración potencial y el almacenamiento de humedad de la zona radicular. Cuando la capacidad de la zona radicular es superada, todo el flujo pasa al compartimiento de la zona no saturada. Si el contenido de humedad de la zona no saturada es mayor al déficit de la zona saturada, se determina el exceso y este permite calcular el flujo superficial por saturación, $q0$. Además, si hay déficit de la zona saturada, se genera un flujo vertical hacia el compartimiento de dicha zona, que depende de la profundidad del nivel freático y que a lo sumo llega a ser el contenido de humedad del compartimiento de la zona no saturada. Finalmente, se calcula el flujo en la zona saturada, qs .

En TOPMODEL se hace uso del Índice Topográfico de Kirkby ($a/tan\beta$) para identificar los puntos en la cuenca capaces de desarrollar condiciones de saturación y definir las áreas de contribución. Las suposiciones básicas, subyacentes al índice, en las que se basa el modelo son: 1)

La dinámica de la zona saturada puede ser aproximada por representaciones de estado estable sucesivas de la zona saturada en un área a drenando a un punto en la ladera. 2) El gradiente hidráulico de la zona saturada puede ser aproximado por la pendiente topográfica de la superficie local, $tan\beta$. Una suposición adicional, el perfil de transmisividad puede ser descrito por una función exponencial del déficit de almacenamiento, D_i , con un valor de T_0 cuando el suelo está saturado en la superficie (Beven, 2012). Bajo estas suposiciones es descrito qs , el mismo qs_i de las ecuaciones 1 y 2 (donde m es un parámetro que controla la tasa de disminución de la transmisividad con incremento del déficit de almacenamiento y r una tasa de recarga espacialmente homogénea). Además, las suposiciones permiten verificar la relación entre la profundidad del nivel freático local y el índice topográfico en ese punto. El cálculo requerido por TOPMODEL para generar un patrón de nivel freático local espacialmente distribuido se reduce a un cálculo para cada clase de índice topográfico.

$$qs_i = T_0 tan\beta exp(-D_i/m) \tag{1}$$

$$qs_i = ra \tag{2}$$

Finalmente, qs permite determinar el flujo base. Mientras que los flujos fex y $q0$ constituyen el flujo superficial.

Según la literatura, los conceptos de TOPMODEL no son aplicables en todas partes, debido a que los supuestos básicos subyacentes al índice se rompen particularmente en cuencas sujetas a una fuerte estación seca (Beven, 2012). A pesar de esto y de la fuerte estacionalidad presente en el área de estudio, dichos supuestos no se cuestionan en este trabajo. En todo caso se está planteando la necesidad de una mejor representación del comportamiento dinámico de los caudales, que pudiera lograrse con la representación del comportamiento hidrológico de los afloramientos rocosos. Según Rodríguez *et al.* (2014) el comportamiento dinámico

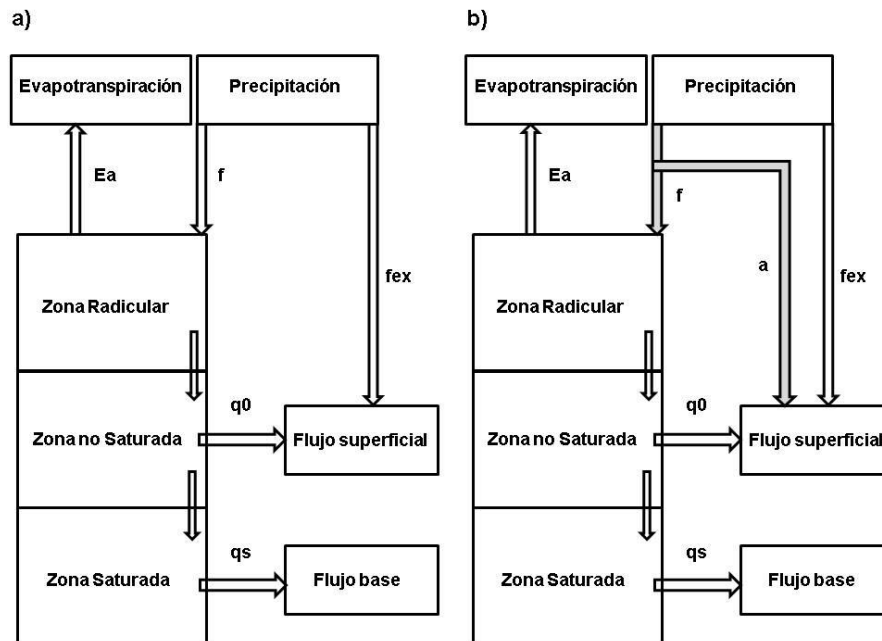


Figura 2. a) Estructura y flujos de TOPMODEL; b) Estructura y flujos de TOPMODEL modificado.

(fuertemente dependiente de las precipitaciones en la época húmeda) debe estar asociado a la gran superficie de afloramientos rocosos, unidad sobre la que escurre la totalidad de las precipitaciones que recibe; y por otra parte a las laderas que son incapaces de retener gran parte del agua, al menos en los primeros 10 cm de profundidad. Las laderas podrían estar sujetas entonces a procesos de infiltración y rápida escorrentía subsuperficial (Rodríguez, 2010; Córdova, 2014). Sin embargo, durante la época seca se podría presumir un menor efecto de los afloramientos rocosos. Ya que el caudal no es tan sensible a las precipitaciones, pudiendo ser el resultado de bajos potenciales matriciales en los suelos, que retienen una gran parte de las pocas precipitaciones que ingresan y generan bajo drenaje (Rodríguez *et al.*, 2014).

Por otro lado, la conectividad hídrica existente entre las laderas, lagunas y humedales contribuye a la recarga lenta y constante de las unidades de fondo de valle, cuyos suelos son los que mayor capacidad de almacenamiento de agua ofrecen, gracias a su alto contenido de materia orgánica (Córdova, 2014). Adicionalmente, los suelos orgánicos de los humedales mantienen elevados contenidos de agua permanentemente (Rodríguez *et al.*, 2014). Estas unidades de fondo de valle, las zonas donde se ubican los humedales y las lagunas han de ser consideradas por el índice topográfico como propensas a saturación y el resto como menos propensas. La mayoría de los afloramientos rocosos han de ser etiquetados como menos propensos a saturación por su ubicación, y al considerarlos de esta forma o inclusive como propensos a saturación se modelaría un comportamiento que no se corresponde con el que estas unidades geomorfológicas realmente exhiben. Por lo tanto, la modificación de la estructura de TOPMODEL que se propone (Fig. 2b) consiste en redireccionar a flujo de afloramiento, *a*, una proporción del flujo que infiltraría.

2.3. Datos disponibles y preprocesamiento

Se dispuso de un modelo digital de elevaciones y una serie de datos de precipitación, caudal y evapotranspiración, provenientes de un sistema de monitoreo que fue implementado en el área de estudio en el año 2008 (Rodríguez, 2010).

El modelo digital de elevaciones usado tiene una resolución de 5 m, este requirió la eliminación de sumideros, razón por la que se usó la función *sinkfill* del paquete TOPMODEL.

Los datos de caudal se estimaron a partir de mediciones hechas cada 10 minutos en un vertedero triangular (90°), ubicado en el punto de salida del valle. Se identifican dos grandes discontinuidades de datos de caudal antes de abril de 2011, razón por la que se define el periodo 01/09/2011-31/03/2012 para calibración y del 01/09/2012 al 31/03/2013 para validación. Además, porque dichos periodos se corresponden a los mismos siete meses simulados en Yeguez *et al.* (2018), que incluyen meses húmedos, secos y de transición. La serie para calibración se caracteriza por caudal mínimo de $1e-07$ m³/10 min¹, caudal máximo de $5.51e-05$ m³/10 min y caudal medio de $5.61e-06$ m³/10 min. Mientras que para la serie de

validación los estadísticos fueron $2e-07$ m³/10 min, $4.48e-05$ m³/10 min y $4.07e-06$ m³/10 min, respectivamente.

Los datos de precipitación corresponden a mediciones hechas cada 10 minutos por una estación climatológica automatizada (resolución mínima 0.2 mm), instalada en el fondo de valle del área de estudio. La serie para calibración se caracteriza por precipitación media de $1.51e-05$ m³/10 min y precipitación máxima de $3.14e-03$ m³/10 min. En validación la media fue $8.40e-06$ m³/10 min y la máxima $3.1e-03$ m³/10 min.

Los datos de precipitación y caudal fueron almacenados en archivos de texto para ser leídos en R, como una serie de datos asociada a una secuencia temporal de 10 minutos. Lo que requirió identificar los datos faltantes, un 11% en la serie de caudal para validación. Estos fueron completados mediante interpolación lineal. Respecto a las series de precipitación no se identificó discontinuidades.

Los datos de evapotranspiración usados son estimaciones diarias de evapotranspiración de la vegetación ajustada a condiciones de estrés hídrico, calculada con el método de la FAO. Se prefiere esta estimación sobre la evapotranspiración de referencia, ya que esta última sobreestima en gran medida las salidas por este flujo, principalmente durante la época de sequía (Rodríguez, 2010). Cada estimación diaria se distribuyó en 144 valores, uno por cada 10 minutos, por medio de una distribución normal, imitando la función *approx.pe.ts* del paquete DYNATOPMODEL de R (Metcalf, Beven, & Freer, 2016).

2.4. Calibración y validación

Como en general no es posible estimar todos los parámetros de un modelo por mediciones directas o estimaciones previas, se usó para la calibración la simulación de Monte Carlo, que implica múltiples ejecuciones del modelo usando diferentes conjuntos de valores de los parámetros escogidos al azar (Beven, 2012). Algunos de estos parámetros se asocian a condiciones iniciales, tal como sucede en Buytaert & Beven (2011) y Gil & Tobón (2016).

Con la finalidad de poder establecer comparaciones se realizaron dos calibraciones, una antes y otra después de la modificación del modelo, usando la función *topmodel* del paquete TOPMODEL. Para cada calibración se realizaron 10,000 ejecuciones del modelo, usando las series de datos correspondientes al periodo 01/09/2011-31/03/2012 y comenzando con los rangos de valores para cada parámetro propuestos por Buytaert & Beven (2011), que también fueron usados por Gil & Tobón (2016). Las descripciones de los nueve parámetros calibrados (*qs0*, *lnTe*, *m*, *Sr0*, *Srmax*, *td*, *vr*, *k0*, *CD*) y los rangos finales de calibración para ambos casos se muestran en la Tabla 1.

Los rangos finales de calibración se obtuvieron ajustando los rangos sin afectar el desempeño de los modelos. Con cada ejecución de la función *topmodel* se obtuvo una matriz de descargas simuladas (con cada columna representando las descargas asociadas a un conjunto de parámetros) y un arreglo de eficiencias de Nash-Sutcliffe, una eficiencia para cada conjunto de parámetros, lo que

¹ TOPMODEL requiere la altura del agua de lluvia, de evapotranspiración y caudal en m por paso de tiempo. Los datos de lluvia y evapotranspiración fueron convertidos de mm a m. Los datos de caudal fueron convertidos de m³/s a m³/10 min

multiplicando por 600 seg. Luego los m³/10 min se dividieron por el área de la cuenca en m², para obtener el caudal en m³/10 min.

Tabla 1. Los parámetros correspondientes a la mejor eficiencia obtenida en la calibración de TOPMODEL y TOPMODEL modificado y el rango final ^a.

Symbol	Parámetro	Unidad	Min	Max	TOPMODEL (calibración)	TOPMODEL modificado	
						^b (calibrac.)	^c (calibrac.)
qs0	Flujo subsuperficial inicial	m	2e-05	6e-05	2.7e-05	5.9e-05	1.16e-04
lnTe	Transmisividad (log transformada)	m ² h ⁻¹	0	3	0.54	2.58	2.78
M	Forma de la curva de transmisividad	m	0	0.06	0.03	0.02	0.02
Sr0	Déficit inicial de almacenamiento de la zona radicular	m	0	0.05	7.85e-03	0.05	0.06
Srmax	Máximo déficit de almacenamiento de la zona radicular	m	0.05	0.2	0.10	0.17	0.20
Td	Retraso de tiempo de la zona no saturada	h m ⁻¹	8	10	8.70	8.13	9.06
vch ^d	Velocidad de flujo terrestre	m h ⁻¹	1000	1000	1000	1000	1000
Vr	Velocidad de flujo del canal	m h ⁻¹	200	250	202.42	206.60	205.77
K0	Conductividad hidráulica superficial	m h ⁻¹	0	1	0.83	0.98	0.22
CD	Impulso capilar	m	0	5	4.05	3.90	1.13
Dt	Paso de tiempo	h	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
E	Eficiencia				0.624	0.716	0.756

Leyenda:

^a 10,000 iteraciones del modelo durante el proceso de calibración, usando el periodo 01/09/2011-31/03/2012

^b Con parámetro $a=0.05$

^c Con parámetro $a=0.05$, la ampliación del límite superior de $qs0$ y de $Sr0$, y el aumento del límite inferior de $Srmax$

^d parámetro requerido, pero no es usado

permitió evaluarlos, así como también evaluar los modelos. La eficiencia de modelado de Nash-Sutcliffe es una medida cuantitativa de bondad de ajuste, también conocida como función objetivo o medida de rendimiento, ampliamente utilizada, basada en la varianza del error, que alcanza el valor de 1 para un ajuste perfecto (Beven, 2012).

Adicionalmente, se usó el método GLUE (por sus siglas en inglés, Generalized Likelihood Uncertainty Estimation) para generar límites de incertidumbre por medio del cálculo de cuantiles ponderados a partir de las predicciones de una batería de conjuntos de parámetros comportamentales. Ya que algunas veces un modelo puede lograr eficiencias Nash-Sutcliffe razonables, pero ser incapaz de generar límites de incertidumbre del 90% usando conjuntos de parámetros razonables (Buytaert & Beven, 2011).

Para la validación de los modelos TOPMODEL y TOPMODEL modificado se usaron pruebas de registro dividido, tal como hicieron Buytaert & Beven (2011) y Gil & Tobón (2016). Una prueba de registro dividido consiste en hacer que el modelo use parámetros estimados en un primer periodo para predecir un segundo periodo, que en este caso corresponde a uno de la misma longitud del periodo de calibración, solo que un año después (01/09/2012-31/03/2013).

3. RESULTADOS Y DISCUSIONES

Usando la función *topidx* de TOPMODEL se calculó el índice topográfico (ver la Fig. 3a). Se puede apreciar que

predominan los valores bajos. Mientras que los altos se localizan en fondo de valle, que son las zonas más propensas a saturación, donde se encuentra la red de drenaje, los humedales y las lagunas. Ya que las unidades de afloramientos rocosos se encuentran distribuidas a lo largo del área de estudio, estas son caracterizadas con valores de índice en todo su rango, tal como muestra el gráfico de barras de la Figura 3b, generado a partir del cruce de un mapa de afloramientos rocosos y el mapa del índice topográfico.

A pesar de que los afloramientos rocosos deberían permitir un escurrimiento de toda el agua que cae sobre ellos, a la mayoría se les asigna valores bajos del índice; es decir, se consideran zonas no propensas a la saturación, generándose flujo subsuperficial que si bien sería menor al que se produciría en un área saturada, pudiera ser la razón por la que se tiene sobreestimación del flujo base.

Para las calibraciones, la función *topmodel* requirió además de las series de precipitación, caudal y evapotranspiración, una matriz con datos de las clases del índice topográfico (que se generó con la función *make.classes* del paquete TOPMODEL) y la función de retardo (que se generó con la función *build_routing_table* del paquete DYNATOPMODEL de R).

La calibración de TOPMODEL se puede ver en la Tabla 1, donde se presenta el conjunto de parámetros correspondiente a la mejor eficiencia obtenida y el rango final de estos. La mayoría de los rangos de los parámetros mantuvieron en los valores iniciales o se acotaron luego de analizar los resultados de corridas preliminares. En el caso del parámetro $Srmax$ se baja el límite inferior y para td se define un nuevo rango.

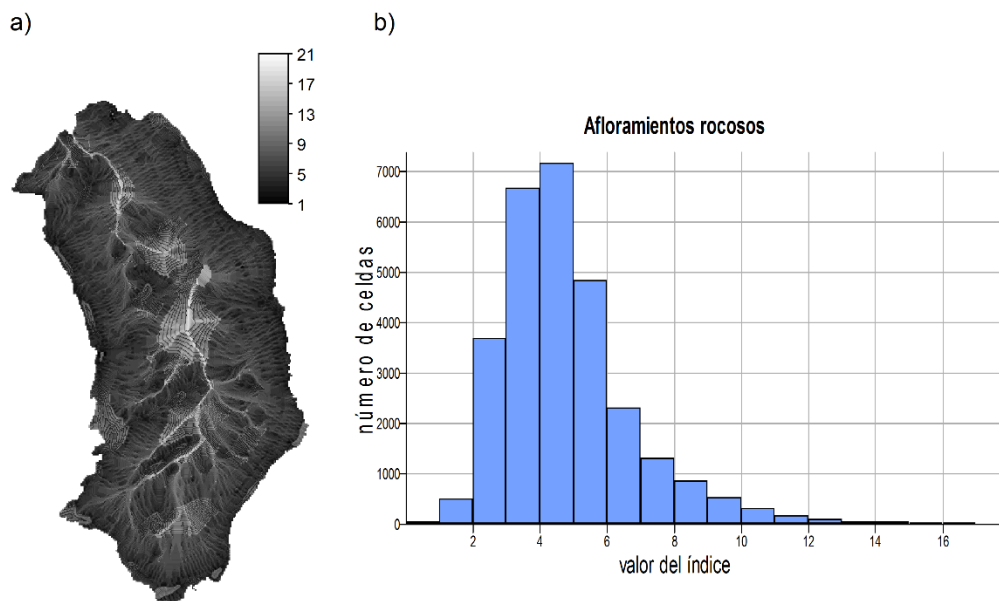


Figura 3. a) Índice topográfico en el área de estudio; b) Valores de índice asignados a los afloramientos rocosos.

Se observó que TOPMODEL no estaba simulando la totalidad de los eventos de precipitación debido a altos valores de Sr_{max} , de este parámetro depende que el agua en la zona radicular pase o no al drenaje de la zona no saturada. Sr_{max} está asociado a la capacidad de campo (Beven & Kirkby, 1979), citando a Rodríguez (2010) el porcentaje de carbono orgánico presente en los suelos de Venezuela es menor al de los suelos de Ecuador y Colombia. Además, se han reportado correlaciones altamente significativas entre la cantidad de carbono orgánico en el suelo y su capacidad de campo.

La disminución del límite inferior del parámetro Sr_{max} , plenamente justificada, implicó la disminución del límite superior de Sr_0 , ya que este último parámetro se encuentra supeditado por el primero. Estos cambios mejoraron la representación de eventos de precipitación y las eficiencias en consecuencia, pero trajo consigo una considerable disminución de los flujos de evapotranspiración simulados, ya que son precisamente estos parámetros los que participan en la determinación de la evapotranspiración.

Por otro lado, en los primeros intentos de modelado de una cuenca de páramo ecuatoriana se reportó insensibilidad del parámetro td , razón por la que se eliminó argumentando que de esa forma se simplifica el modelo, quedando la zona no saturada y saturada unidas. En los suelos orgánicos del páramo es difícil distinguir el borde entre la zona saturada y la no saturada debido a las propiedades de expansión y contracción de los suelos, y la alta capacidad de almacenamiento de agua en condiciones insaturadas (Buytaert & Beven, 2009). El parámetro también resultó insensible en el modelado de una cuenca colombiana (Gil & Tobón, 2016). Según Güntner, Uhlenbrook, Seibert, & Leibundgut (1999) td es parte de una formulación muy simple del movimiento vertical del agua del suelo y no tiene contrapartida física directa. Sin embargo, un valor alto de td se justifica si se tiene un valor alto de T_0 (gran permeabilidad de los suelos) para que se produzca algún retraso en el movimiento del flujo entre la zona no saturada y la saturada (Oberto, 2006). Esto se observó en dos cuencas mediterráneas, con condición

seca, donde los valores calibrados fueron 10.32 y 10.4 respectivamente (Piñol, Beven, & Freer, 1997).

Un valor alto para td , así como un valor bajo de vr propician un retardo del flujo. En una cuenca ecuatoriana el valor calibrado de vr fue 750 m/h, muy lento comparado con las estimaciones de campo. Lo que se atribuyó a la falta de un tercer reservorio fuertemente relacionado con grietas y macroporos (Buytaert, Céleri, De Bièvre, Deckers, & Wyseure, 2004). En el caso del páramo venezolano, se presumiría entonces mayor necesidad de un tercer reservorio, ya que los valores calibrados de vr son mucho más bajos. Otra posible explicación para este comportamiento podría ser la presunción de estado estacionario de la zona saturada, sobre la que se fundamenta TOPMODEL. El retraso sería un mecanismo usado por el modelo para sincronizar lo observado y simulado.

En diferentes corridas de calibración los valores de los mejores conjuntos de parámetros fueron muy similares, salvo el caso de k_0 y CD . Dichos parámetros son usados en la rutina de infiltración, y a partir del flujo que infiltra se determina el flujo sobre la tierra por exceso de infiltración. Por lo tanto, ambos flujos han de ser variables en las diferentes corridas; siendo muy bajo el flujo sobre la tierra por exceso de infiltración, en todos los casos.

La representación del comportamiento hidrológico de los afloramientos rocosos en TOPMODEL requirió redireccionar un porcentaje del flujo que infiltra a flujo superficial. Por lo tanto, se agregó un parámetro adicional, a , la proporción de flujo de precipitación a redireccionar. Dicho parámetro se fijó inicialmente en 0.20, por ser aproximadamente el área que cubren los afloramientos rocosos, pero al observar un bajo desempeño del modelo se decidió calibrarlo también. Las mejores eficiencias fueron obtenidas usando valores de a entre 0.04 y 0.05 inclusive.

En la Tabla 1 se muestra la calibración del TOPMODEL modificado usando $a=0.05$, específicamente la eficiencia obtenida y los valores del resto de parámetros (manteniendo los rangos usados para la calibración de TOPMODEL). Se puede observar que la modificación

hecha al modelo mejora la eficiencia en calibración. Mejores resultados se obtuvieron ampliando el límite superior de qs_0 y de Sr_0 (condiciones iniciales), con el respectivo aumento del límite inferior de Sr_{max} . Al conservar los rangos o al ampliarlos, los mejores valores de los parámetros se mantuvieron muy similares en las diferentes corridas, con las excepciones k_0 y CD , como sucedió con TOPMODEL.

La Figura 4 muestra el caudal observado y el simulado por TOPMODEL y TOPMODEL modificado luego de la calibración. Se observa que TOPMODEL modificado hace en general una mejor representación de los picos y las curvas de recesión, aun cuando estas últimas siguen sobreestimadas están la mayor parte del tiempo más próximas a los datos observados que sus pares de TOPMODEL.

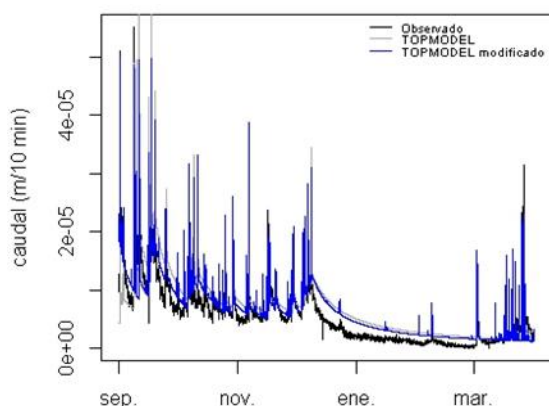


Figura 4. Caudal observado y el simulado por TOPMODEL y TOPMODEL modificado en calibración.

El valor calibrado de a resultó mucho menor a 0.20, quizá porque solo los afloramientos rocosos próximos a la red de drenaje contribuyen a la escorrentía rápida. Afloramientos ubicados a lo sumo a 44 m de la red de drenaje constituyen un 25% del área de afloramientos, de acuerdo con el cálculo de las distancias entre los diferentes elementos topográficos y la red de drenaje hecho con ILWI². Por lo tanto, si consideramos que la precipitación se distribuye de forma uniforme en la zona de estudio, un 5% de ella caería sobre los afloramientos ubicados a lo sumo a 44 m de la red de drenaje, porcentaje de flujo que se redireccionó en la versión mostrada de TOPMODEL modificado. Sin embargo, otros factores podrían explicar el bajo valor de a , como la presencia de fracturas en los afloramientos y el efecto de la fuerte evapotranspiración.

Se determinaron los límites de incertidumbre del 95% para TOPMODEL y TOPMODEL modificado, descartando los conjuntos de parámetros con eficiencia menor a 0.3. Más que comparar la estrechez de los límites, se notó que el caudal observado se encuentra fuera de los límites por más tiempo en el caso de TOPMODEL que en el caso de TOPMODEL modificado. Se calcularon los límites del 95% y no los de 90%, ya que es más fácil apreciar que el caudal observado y el límite inferior de TOPMODEL modificado coinciden la mayor parte del tiempo. Según este criterio TOPMODEL modificado es una mejor representación.

² El Sistema Integrado de Información de Tierras y Aguas (ILWIS: Integrated Land and Water Information system) es un

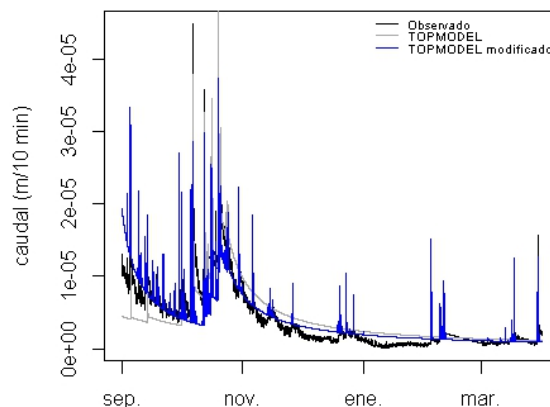


Figura 5. Caudal observado y el simulado por TOPMODEL y TOPMODEL modificado en validación.

La validación de los modelos se llevó a cabo usando los parámetros obtenidos de sus mejores calibraciones y las series de precipitación y evapotranspiración del 01/09/2012 al 31/03/2013. La Figura 5 muestra el caudal observado y el simulado por TOPMODEL y TOPMODEL modificado en validación. La eficiencia obtenida por TOPMODEL fue de 0.72 y la obtenida por TOPMODEL modificado de 0.76, eficiencias mejores o iguales a las obtenidas en calibración respectivamente. TOPMODEL modificado obtiene solo una pequeña ventaja quizá por tratarse de un año más seco con un porcentaje de datos interpolados; sin embargo, imita mejor la dinámica que su contraparte, que genera curvas de recesión generalmente más suaves.

4. CONCLUSIONES

Se modificó TOPMODEL buscando representar el comportamiento hidrológico de los afloramientos rocosos presentes en cuencas de páramo andino venezolano, dicha modificación se llevó a cabo considerando el conocimiento obtenido en investigaciones previas. El TOPMODEL modificado parece representar mejor la dinámica que TOPMODEL, mejoró los picos y las curvas de recesión, obteniendo eficiencias Nash-Sutcliffe superiores tanto en calibración como en validación. Además, logra contener la descarga observada dentro de límites de incertidumbre del 95% por más tiempo. Asumiendo un coeficiente de escorrentía de 1 en los afloramientos y de acuerdo con la calibración, la lluvia que cae en un 25% del área de afloramientos es redireccionada a escorrentía superficial, posiblemente se trate del conjunto de afloramientos ubicados a lo sumo a 44 m de la red de drenaje. Sin embargo, otras interpretaciones son posibles ya que otros factores podrían explicar el bajo valor de a , como la presencia de fracturas y el efecto de la fuerte evapotranspiración. Por lo tanto, sería conveniente realizar más estudios sobre la respuesta hidrológica de los afloramientos rocosos presentes en el área de estudio a diferentes escalas; así como también la

sistema de información geográfica (SIG) y software de detección remota para el procesamiento de vectores y ráster.

evaluación de diferentes hipótesis mediante el uso de modelos.

Por otro lado, la mayoría de los valores calibrados de los parámetros, tanto para el caso de TOPMODEL como de TOPMODEL modificado, pertenecen a un rango con significado físico. Algunos ajustes debieron hacerse en un par de parámetros en función de las características particulares del páramo andino venezolano. Destaca el comportamiento de v_r que parece estar revelando deficiencias de los modelos para la representación. Otros aspectos que requieren de una evaluación es el uso del modelo Green y Ampt en la determinación del flujo para infiltración y la presunción de estado estacionario de la zona saturada, sobre la que se fundamenta TOPMODEL.

REFERENCIAS

- Beven, K. (2012). *Rainfall-Runoff Modelling: The Premier* (2ª ed.). Wiley-Blackwell.
- Beven, K., & Kirkby, M. (1979). A physically based, variable contributing area model of basin hydrology. *Hydrological Sciences Bulletin*, 24(1), 43-69. doi:10.1016/j.scitotenv.2006.12.013
- Burns, D. A., McDonnell, J. J., Hooper, R. P., Peters, N. E. Freer, J. E., Kendall, C., & Beven, K. (2001). Quantifying contributions to storm runoff through end-member mixing analysis and hydrologic measurements at the Panola Mountain research watershed (Georgia, USA). *Hydrological Processes*, 15, 1903-1924.
- Buytaert, W. (2009). Implementation of the hydrological model TOPMODEL in R. Disponible en <https://cran.r-project.org/web/packages/topmodel/topmodel.pdf>
- Buytaert, W., & Beven, K. (2009). Regionalization as a learning process. *Water Resources Research*, 45(11), 1-13. doi:10.1029/2008WR007359
- Buytaert, W., & Beven, K. (2011). Models as multiple working hypotheses: Hydrological simulation of tropical alpine wetlands. *Hydrological Processes*, 25, 1784-1799.
- Buytaert, W., Céleri, R., De Bièvre, B., Deckers, J., & Wyseure, G. (2004). *Modelando el comportamiento hidrológico de microcuencas de páramo en el Sur del Ecuador con TOPMODEL*. In: Memorias del III Congreso Latinoamericano sobre Manejo de Cuencas Hidrográficas. Arequipa.
- Buytaert, W., Iñiguez, V., & De Bièvre, B. (2007). The effects of afforestation and cultivation on water yield in the Andean páramo. *Forest Ecology and Management*, 251(1-2), 22-30.
- Córdova, C. (2014). *Estudio de las características edáficas con el fin de estimar la capacidad potencial de almacenamiento hídrico en los suelos minerales de la Microcuenca de Miguaguó, Mixteque*. Tesis de Postgrado, 102 pp. Universidad de los Andes, Mérida, Venezuela.
- Devi, G. K., Ganasri, P. B., & Dwarakish, G. S. (2015). A review on hydrological models. *Aquatic Procedia*, 4, 1001-1007. <https://doi.org/10.1016/j.aqpro.2015.02.126>
- Durand, P., Robson, A., & Neal, C. (1992). Modelling the hydrology of submediterranean montane catchments (Mont-Lozère, France) using TOPMODEL: initial results. *Journal of Hydrology*, 139, 1-14. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(92\)90191-W](https://doi.org/10.1016/0022-1694(92)90191-W)
- FAO. (2009). *Guía para la descripción de suelos*. Roma. Disponible en <http://www.fao.org/3/a-a0541s.pdf>
- Gil, E., & Tobón, C. (2016). Hydrological modelling with TOPMODEL of Chingaza páramo, Colombia. *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, 69(2), 1-16.
- Güntner, A., Uhlenbrook, S., Seibert, J., & Leibundgut, C. (1999). Multi-criterial validation of TOPMODEL in a mountainous catchment. *Hydrological Processes*, 13, 1603-1620.
- Wilson, J. P., & Gallant, J. C. (2000). *Terrain Analysis: Principles and Applications*. John Wiley & Sons, Inc.
- Lanni, C., McDonnell, J. J., & Rigon, R. (2011). On the relative role of upslope and downslope topography for describing water flow path and storage dynamics: a theoretical analysis. *Hydrological Processes*, 25, 3909-3923.
- Metcalf, P., Beven, K., & Freer, J. (2016). Implementation of the dynamic "TOPMODEL" hydrological model. Disponible en <https://cran.r-project.org/web/packages/dynatopmodel/dynatopmodel.pdf>
- Oberto, L. (2006). *Evaluación de la Aplicación del Modelo Lluvia-escorrentía TOPMODEL a la cuenca del Embalse Yacambú*. Tesis de Postgrado. 69 pp. Universidad Centrooccidental Lisandro Alvarado, Barquisimeto, Venezuela.
- OMM, & UNESCO. (2012). *Glossario hidrológico internacional*. Junta de publicaciones Organización Meteorológica Mundial (OMM).
- Piñol, J., Beven, K., & Freer, J. (1997). Modelling the hydrological response of mediterranean catchments, Prades, Catalonia. The use of distributed models as aids to hypothesis formulation. *Hydrological Processes*, 11, 1287-1306. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-1085\(199707\)11](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1085(199707)11)
- Rodríguez, M. (2010). *El páramo como proveedor de agua: análisis de las unidades geomorfológicas y de vegetación sobre el balance hídrico de una microcuenca andina de Venezuela*. Tesis de Postgrado, 140 pp. Universidad de los Andes. Mérida, Venezuela.
- Rodríguez, M., Acevedo, D., Buytaert, W., Ablan, M., & De Bièvre, B. (2014). El páramo andino como productor y regulador del recurso agua. El caso de la microcuenca alta de la Quebrada Mixteque, Sierra Nevada de Mérida, Venezuela. En: *Cuesta F, Sevink J, Llambí LD, De Bièvre B, Posner J, Editores. Avances en investigación para la conservación de los páramos andinos, CONDESAN*, 245-266.
- Seibert, J., Bishop, K. H., & Nyberg, L. (1997). A test of Topmodel's ability to predict spatially distributed groundwater levels. *Hydrological Processes*, 11, 1131-1144.
- Suarez, V. V. C., Okello, A. M. L. S., Wenninger, J. W., & Uhlenbrook, S. (2015). Understanding runoff processes in a semi-arid environment through isotope and hydrochemical hydrograph separations. *Hydrology and Earth System Sciences*, 19, 4183-4199. doi:10.5194/hess-19-4183-2015

- Tarolli, P., Borga, M., & Fontana, G. D. (2008). Analysing the influence of upslope bedrock outcrops on shallow landsliding. *Geomorphology*, 93, 186-200. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2007.02.017>
- Woo, M. (2012). *Permafrost Hydrology*. Springer Verlag, Berlin.
- Yeguez, M., Ablan, M., Acevedo, D., Rodríguez, M., & Machado, D. (2018). Primer intento de modelización de la hidrología de una microcuenca del páramo andino venezolano. In: VI Jornadas del Liancol y II Congreso de Ciencias Ambientales, Cabimas, Venezuela, pp. 104-109.



Artículo científico / Research paper

Respuesta de semillas de tres especies nativas altoandinas a diferentes condiciones de almacenamiento

Seeds response to different storage conditions of three highland native tree species

Claudia Patiño-Uyaguari¹, Janeth Jiménez-Sánchez¹, Franklin Marín-Molina² , Ximena Palomeque-Pesántez^{1,2} 

¹ Facultad de Ciencias Agropecuarias, Carrera de Ingeniería Agronómica, Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador.

² Departamento de Recursos Hídricos y Ciencias Ambientales, Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador.

Autor para correspondencia: ximena.palomeque@ucuenca.edu.ec

Fecha de recepción: 3 de octubre de 2019 - Fecha de aceptación: 10 de diciembre de 2019

RESUMEN

Para asegurar la capacidad de germinación y viabilidad de especies forestales nativas es importante conocer las condiciones óptimas para el almacenamiento de semillas a largo plazo. En respuesta a esto, nosotros investigamos el efecto del almacenamiento de semillas en la germinación, viabilidad y velocidad de germinación (VG) de *Vallea stipularis*, *Hedyosmum luteynii* y *Oreopanax avicenniifolius*. Las semillas fueron colectadas de los bosques Llaviucu y Mazán del Parque Nacional El Cajas y fueron expuestas a diferentes tratamientos de almacenamiento: tres contenidos de humedad (inicial, medio bajo), dos temperaturas (10°C y temperatura ambiente) y tres tiempos de almacenamiento (3, 6 y 12 meses). Los resultados mostraron que en general las semillas de *V. stipularis* almacenadas a 10°C durante 12 meses, presentaron bajos e incluso nulos porcentajes de germinación; la viabilidad y VG disminuía conforme se incrementaba el tiempo de almacenamiento. Las semillas de *H. luteynii* tuvieron una alta germinación y viabilidad hasta los 12 meses de almacenamiento a 10°C, sin embargo, su germinación fue tardía y poco sincronizada. El almacenamiento a temperatura ambiente no favoreció la germinación y VG de las dos especies, aunque, *H. luteynii* mantuvo su viabilidad intacta hasta el último periodo evaluado. *O. avicenniifolius* mantuvo su capacidad germinativa hasta los 12 meses de almacenamiento, tanto a 10°C como temperatura ambiente, pero con baja germinación. El conocimiento generado contribuye para un mejor manejo de las semillas, en programas de conservación *ex situ* y la producción de plántulas para la restauración.

Palabras claves: Tiempo de almacenamiento, contenido de humedad, temperatura, Parque Nacional El Cajas, Andes.

ABSTRACT

To ensure the germination capability and viability of native tree species it is important to know the optimum conditions for seed storage in the long term. In response to this, we investigated the effect of seed storage on the germination, viability, and velocity of germination (VG) of *Vallea stipularis*, *Hedyosmum luteynii* and *Oreopanax avicenniifolius*. The seeds were collected in Llaviucu and Mazan forests in Cajas National Park and exposed to different treatments of seed storage: three levels of seed moisture content (initial, medium and low), two levels of temperature (10°C and room temperature) and three periods of storage (3, 6, and 12 months). The research revealed that seeds of *V. stipularis* stored at 10°C for 12 months had the lowest germination values, even null percentages; the more the seed viability and VG decreased when the time of seed storage increased. The seeds of *H. luteynii* showed high germination and viability up to 12 months of storage at 10°C, however, its germination was later and little synchronized. The room temperature did not work well for germination and VG for both these species, although, *H. luteynii* maintained its viability intact up to the last period of evaluation. *O. avicenniifolius* maintained at 10°C and room temperature its germination capacity up to 12 months but with a lower percentage. The knowledge generated contributes to better seed management in *ex situ* conservation programs and plant propagation for restoration.

Keywords: Time of storage, seed moisture content, temperature, Cajas National Park, Andes.

1. INTRODUCCIÓN

Ecuador es considerado uno de los países megadiversos, por la presencia de una gran variedad de formas de vida en las cuatro regiones del país (Grijalva *et al.*, 2015), siendo la región andina considerada como uno de los

puntos calientes de biodiversidad en el mundo (Myers, Mittermeier, Mittermeier, da Fonseca, & Kent, 2000). El 34.7% (9,599,678 ha) de la superficie de este país está constituida por ecosistemas forestales (FAO, 2012). Sin embargo, esta área de bosque se está reduciendo por el cambio de uso de suelo, por la deforestación de vegetación



nativa para el establecimiento de tierras de uso agrícola (Estrella, Manosalvas, Mariaca, & Ribadeneira, 2005), y debido a la ampliación de las ciudades por el crecimiento poblacional (Defries, Rudel, Uriarte, & Hansen, 2010).

Hoy en día, hay una creciente preocupación por la pérdida y degradación de los bosques y su biodiversidad asociada, de ahí que, el Ecuador se ha comprometido en restaurar paisajes forestales dentro de la iniciativa 20x20, con una contribución de 500,000 hectáreas dentro de la Convención Marco de las Naciones Unidas en el 2014. Además, se cuenta con un Plan Nacional de Restauración Forestal para el 2019-2030 (Ministerio del Ambiente, 2019). Para cumplir con los propósitos enmarcados a nivel internacional y nacional, se requiere de técnicas apropiadas que en muchos de los casos dependen de la calidad de las semillas, como por ejemplo la propagación de plantas de calidad para la reforestación (Smith, Mengistu, Nelson, & Paris, 2008; Palomeque *et al.*, 2017). Sin embargo, entre los principales inconvenientes en las semillas, es la limitada información de la gran variedad de especies potenciales para la restauración, que incluye desde la identificación de fuentes semilleras, calidad de las semillas, consideraciones genéticas, dormancia, tratamientos pregerminativos, germinación y su velocidad, establecimiento de plántulas y almacenamiento de semillas (Kindt *et al.*, 2006; Palomeque *et al.*, 2017). Un aspecto crucial en la ejecución de los programas de reforestación, es mantener la cantidad y viabilidad de semillas en el mayor tiempo posible (Doria, 2010), considerando que las épocas de fructificación de los árboles, no necesariamente coinciden con los cronogramas de producción de plantas por parte de los viveristas locales (Velasquez, Montero, & Tapia, 2008) o a través de instituciones gubernamentales y no gubernamentales; de ahí la importancia de estudiar las condiciones óptimas de almacenamiento para cada especie.

Varios autores afirman que el almacenamiento de las semillas depende si son de tipo ortodoxas, recalcitrantes o intermedias (Pammenter & Berjak, 2000; Schmidt, 2000). Las semillas ortodoxas poseen contenido de humedad relativamente bajo (<15%) y toleran una deshidratación hasta de 5% (Gentil, 2001) y pueden ser almacenadas hasta temperaturas bajo cero, durante muchos años hasta décadas o siglos, dependiendo de la especie (Walters, Wheeler, & Grotenhuis, 2005). Las semillas recalcitrantes tienen alto contenido de humedad (sensibles a la desecación), pierden viabilidad cuando su contenido de humedad cae por debajo del 20-30% (Pritchard, 2004), y no pueden ser almacenadas a temperaturas extremadamente bajas y durante tiempos prolongados (Schmidt, 2000); mientras que semillas intermedias presentan características de ortodoxas y recalcitrantes (Royal Botanic Gardens Kew, 2015). A partir de esta información se puede establecer de antemano las condiciones necesarias de almacenamiento tales como: temperatura, contenidos de humedad de semilla y tiempo de almacenamiento. Todos estos factores al integrar los hacen que el entendimiento de la respuesta de las semillas en términos de germinación, viabilidad y velocidad de germinación sea muy complejo.

Estudios demuestran que, al integrar la temperatura y contenido de humedad de la semilla, modulan la tasa de envejecimiento de la semilla y en consecuencia reduce el potencial germinativo y su viabilidad (Pritchard & Dickie, 2003; Walters *et al.*, 2005; Bewley, Bradford, Hilhorst, &

Nonogaki, 2013). Otro ejemplo que ilustra la complejidad es el almacenamiento de semillas a largo plazo, incluso cuando éstas se almacenan a temperaturas con niveles de humedad y oxígeno óptimos (Pukacka & Ratajczak, 2007); normalmente la capacidad de germinación y el vigor se pierde durante el curso de envejecimiento, y consecuentemente hay una pérdida de plántulas (Çakmak, Atici, Agar, & Sunar, 2010).

Otro enfoque del estudio sobre almacenamiento de semillas de especies nativas es la contribución a la conservación *ex situ*, en bancos de germoplasma (BG), los mismos que tienen a su cargo la conservación, producción y el uso del conocimiento sobre semillas comestibles, forestales, medicinales, ornamentales en el mundo (FAO, FIDA, & PMA, 2014). En Ecuador, el BG público manejado por el Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), cuenta con 88 accesiones de semillas de especies forestales, que incluyen especies exóticas (Romero-Saritamá, 2018).

Este estudio se realizó con el fin de responder a la pregunta ¿Cuál es la capacidad germinativa, viabilidad y velocidad de germinación de semillas almacenadas en diferentes condiciones de almacenamiento (temperatura, contenido de humedad de la semilla y tiempo de almacenamiento) para las especies forestales nativas *Vallea stipularis*, *Hedyosmum luteyningii* y *Oreopanax avicenniifolius*? La información generada aporta con protocolos de almacenamiento de semillas forestales de especies altoandinas para su conservación y uso en programas de restauración a través de la reforestación o siembra directa de semillas con especies nativas.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Área de estudio y colección de semillas

Se utilizó semillas de tres especies forestales nativas: *Vallea stipularis* L. f. (Sacha capulí), *Hedyosmum luteyningii* Todzia (Borracho) y *Oreopanax avicenniifolius* (Kunth) Decne. & Planch. (Pumamaqui), provenientes de los bosques de Llaviucu y Mazán del Parque Nacional El Cajas, provincia del Azuay (Fig. 1).

Ambos bosques están ubicados a una altitud desde 3103 hasta 3178 m.s.n.m. y corresponden al ecosistema bosque Siempre Verde Montano Alto (Sierra, 1999). Las semillas de cada especie, colectadas de frutos maduros de al menos 10 árboles por bosque, con las mejores características fenotípicas. La colección de los frutos se realizó dependiendo del periodo de fructificación de cada especie: *V. stipularis* entre mayo y junio del 2017, *H. luteyningii* entre enero y febrero del 2018 y *O. avicenniifolius* entre febrero y abril del 2018. Para cada especie, las semillas de los dos bosques fueron mezcladas con el fin de garantizar la variabilidad genética.

2.2. Reducción del contenido de humedad de las semillas y tratamientos de almacenamiento

Los ensayos se realizaron en el laboratorio de Ecología Forestal y Semillas, de la Universidad de Cuenca. El cálculo del contenido de humedad inicial de las semillas por cada especie se basó en las normas de la Asociación Internacional de Ensayos de Semillas (ISTA, 2007), para lo cual se utilizó dos repeticiones de 100 semillas cada

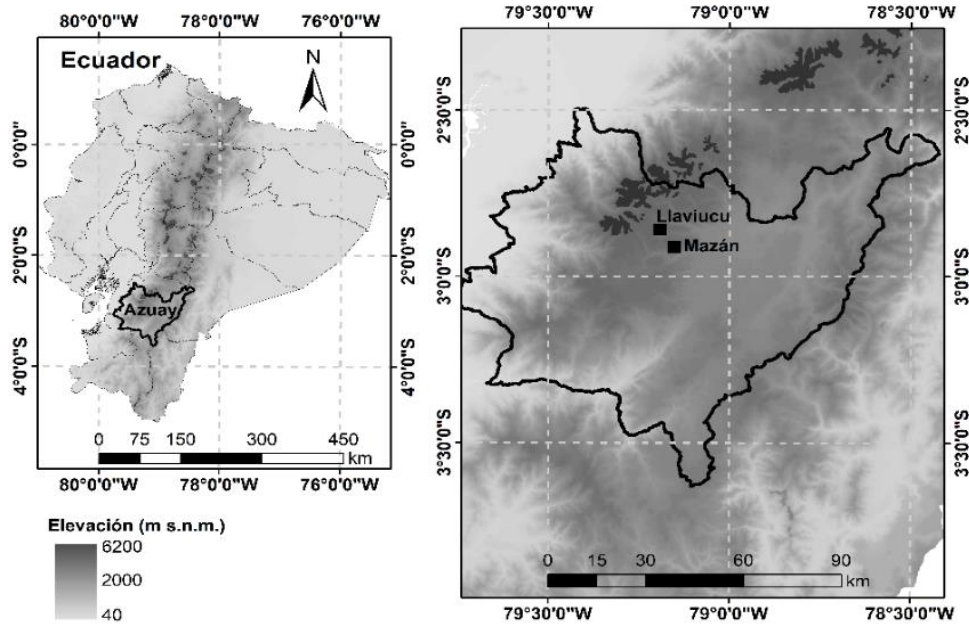


Figura 1. Fuentes semilleras de los bosques de Mazán y Llaviucu del Parque Nacional El Cajas en la provincia del Azuay, Ecuador.

Tabla 1. Intervalos de tiempo para lograr los diferentes rangos de los contenidos de humedad de semillas para el almacenamiento de tres especies forestales nativas.

Especies	Intervalo de tiempo de desecación	Contenido de humedad (%)
<i>Vallea stipularis</i>	1020 min	Inicial (10.17)
	23 min	Medio (8)
	173 min	Bajo (6)
<i>Hedyosmum luteynii</i>	1020 min	Inicial (10.38)
	16 min	Medio (8)
	40 min	Bajo (5)
<i>Oreopanax avicenniifolius</i>	1020 min	Inicial (9.47)
	17 min	Medio (8)
	42 min	Bajo (5)

Fuente: Jiménez & Patiño (2019)

Tabla 2. Métodos de desinfección empleados para el control sanitario en las semillas de las diferentes especies.

Especies	Método de desinfección
<i>Vallea stipularis</i>	Fungicida Clorhexidina + Cetrimide (Germinal) al 10% durante 2 minutos y enjuague con agua destilada.
<i>Hedyosmum luteynii</i>	Agua Destilada + Jabón líquido y enjuague con agua destilada.
<i>Oreopanax avicenniifolius</i>	Hipoclorito de sodio al 5,25% (Clorox) durante 2 minutos y enjuague con agua destilada.

Fuente: Jiménez & Patiño (2019)

una, considerando el peso antes y después de secar en un horno a 103°C durante 17 horas. A partir del contenido de humedad inicial de las tres especies, un lote de semillas con dos repeticiones de 100 semillas fue utilizado para generar una curva de desecación, para definir dos niveles de contenido de humedad (medio y bajo), para lo cual se utilizó una estufa con temperatura constante a 45°C y por diferentes periodos de tiempo hasta determinar el tiempo específico y el contenido de humedad deseado (Tabla 1); este fue un proceso destructivo para las semillas. Para los respectivos cálculos se utilizó la siguiente ecuación (ISTA, 2007):

$$CH = (m2 - m3) * \frac{100}{(m2 - m1)} \quad (1)$$

donde CH es el contenido de humedad (%) de la semilla; m1 el peso en gramos del contenedor y su cubierta; m2 el peso en gramos del contenedor, su cubierta y las semillas antes del secado, y m3 el peso en gramos del contenedor, su cubierta y las semillas después del secado.

Para el experimento del almacenamiento de semillas se utilizaron tres factores: 1) contenido de humedad (inicial, medio y bajo), 2) temperatura (temperatura ambiente y 10°C), y 3) tiempo de almacenamiento (3, 6 y 12 meses).

Una vez alcanzados los niveles de contenido de humedad deseados de las semillas para cada especie, estas fueron almacenadas en papel aluminio y fundas ziploc con silica gel (absorbente de humedad) y colocados en recipientes de vidrio totalmente herméticos, para evitar que las semillas absorban humedad. Para evaluar la influencia de la temperatura sobre el almacenamiento, se utilizó una refrigeradora calibrada a 10°C y para el almacenamiento a temperatura ambiente (promedio 21°C), se utilizó un estante de vidrio hermético ubicado en el laboratorio. Se aplicó un diseño completamente al azar, y por cada tratamiento se utilizó cuatro repeticiones con 25 semillas cada una. En total se tuvo 72 unidades experimentales por especie. Adicionalmente, se evaluó la germinación de las semillas sin almacenamiento aplicando solamente los tres niveles de humedad antes descritos.

2.3. Pruebas de germinación, viabilidad y cálculo de la velocidad de germinación

Una vez transcurridos los diferentes periodos de almacenamiento de cada especie, se evaluó la germinación en porcentaje, colocando las semillas en cajas Petri de vidrio con papel toalla previamente esterilizados. Además, en línea con previos ensayos se utilizó un método de desinfección específico para las semillas de cada especie, el mismo que se especifica en la Tabla 2. Para mantener la humedad se utilizó agua destilada durante todo el proceso de germinación y su monitoreo se realizó cada dos días durante 75 días para *V. stipularis*, 55 días para *H. luteynii* y 35 días para *O. avicenniifolius*, contando desde el día en que inicia la germinación. Se consideró como semilla germinada cuando la nueva plántula presentaba sus primeras hojas cotiledóneas (ISTA, 2007). Al final de la etapa de germinación de los diferentes tratamientos aplicados, las semillas que no germinaron fueron evaluadas su viabilidad utilizando sales de Tetrazolio al 1%, para observar la tinción del embrión (ISTA, 2007). Además, se categorizó a las semillas como podridas y vacías, para lo cual la semilla fue cortada. Estos resultados fueron expresados en porcentaje.

La velocidad de germinación fue calculada a partir de los registros de germinación. El coeficiente de velocidad (CVG) se calculó a partir de la siguiente ecuación (Baskin & Baskin, 2014):

$$CVG = \frac{100(A1 + A2 + \dots + Ax)}{(A1.T1 + A2.T2 + \dots + Ax.Tx)} \quad (2)$$

donde CVG es el coeficiente de velocidad germinativa; A1, A2, Ax son los números de semillas contadas desde el primer día, segundo día hasta el último día, etc.; y T1, T2, Tx el número de días entre la siembra y el primer día de registro de germinación, segundo día de registro de germinación hasta el último día de registro.

2.4. Análisis estadístico

El efecto de las diferentes condiciones de almacenamiento de cada especie, sobre la germinación, viabilidad, pudrición, semillas vacías y coeficientes de velocidad de germinación, se evaluó utilizando los modelos lineales generalizados (GLM). Se consideró como factores fijos al tiempo, contenido de humedad y temperatura de

almacenamiento con sus combinaciones. Para la selección de los mejores modelos se utilizó su bondad de ajuste del modelo a través del criterio de información de Akaike (AIC) y del criterio de información Bayesiano (BIC). Adicionalmente, se evaluó la normalidad de sus residuales mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov. Los modelos que no presentaron una distribución normal fueron transformados mediante la raíz cuadrada. Los GLM, fueron analizados por especie, utilizando las librerías nlme¹ (Pinheiro, Bates, DebRoy, & Sarkar, 2018) y lme4² (Bates, Machler, Bolker, & Walker, 2015) del programa estadístico R 3.5.1 (R Core Team, 2018). Un análisis de varianza (ANDEVA) fue realizado para determinar las diferencias estadísticas de las semillas con sus distintos niveles de CH, que no fueron sometidas almacenamiento y se aplicó la prueba Tukey (p<0.05) para encontrar diferencias entre las medias de los grupos.

3. RESULTADOS

3.1. Germinación y viabilidad inicial de semillas sin almacenamiento

El porcentaje de germinación inicial de *V. stipularis*, en los tres niveles de contenido de humedad (CH) evaluados antes del almacenamiento, osciló entre 48 y 57%, y su viabilidad fue inferior al 25%. Para *H. luteynii*, el porcentaje de germinación varió entre 37 y 50% y la viabilidad entre 26% y 37%. La germinación inicial de *O. avicenniifolius* fue menor al 35%, así como la viabilidad estuvo por debajo del 5% (Tabla 3). En general, las tres especies presentaron bajo porcentajes de semillas vacías y para la variable pudrición; *O. avicenniifolius* tuvo porcentajes superiores al 61% mientras que las dos especies reportaron valores inferiores al 17%. En cuanto a la velocidad de germinación, la especie que presentó una germinación más temprana, rápida y sincronizada fue *O. avicenniifolius* con un CVG máximo de 2.3, y contrariamente *H. luteynii* tuvo una germinación tardía, lenta y desincronizada con valores máximos de CVG de 0.9. *V. stipularis* mostró un comportamiento de velocidad de germinación intermedio con un CVG máximo de 1.4, con respecto a las dos especies. No se encontró diferencias estadísticamente significativas entre los diferentes niveles de CH de las semillas no almacenadas para las tres especies en las variables analizadas, excepto para *O. avicenniifolius* en la variable semillas vacías (Tabla 3).

3.2. Efecto de las diferentes condiciones de almacenamiento sobre el porcentaje de germinación de tres especies forestales nativas

Las semillas de *V. stipularis* almacenadas a 10°C con los tres niveles de CH, tanto a los 3 como 6 meses, presentaron similares porcentajes de germinación, entre 50 y 65 % (Fig. 2a,b) y a los 12 meses, la germinación se redujo drásticamente (<6%) e incluso nula en el tratamiento de almacenamiento con 6% CH (Fig. 2c). Las semillas almacenadas a temperatura ambiente, a partir del tercer mes presentaron una disminución severa de la germinación, inferior al 25% (Fig. 2a); para el sexto mes solamente el tratamiento de almacenamiento con 6% de

¹ nlme: Linear and Nonlinear Mixed Effects Models

² lme4: Mixed-effects models in R

Tabla 3. Media de los porcentajes iniciales de germinación, viabilidad, semillas podridas y vacías, y promedio del coeficiente de velocidad de germinación (CVG) de semillas sin almacenamiento de tres especies forestales con tres niveles de contenidos de humedad de las semillas.

Especie	CH (%)	Germinación (%)		Viabilidad (%)		Vacías (%)		Podridas (%)		CVG	
		media	DE	media	DE	media	DE	media	DE	media	DE
<i>Vallea stipularis</i>	6	48a	12.65	25a	3.83	3a	6.00	17a	6.00	1.40a	0.11
	8	49 a	8.87	21a	3.83	3a	3.83	16a	4.62	1.30a	0.05
	10.17	57a	8.25	21a	8.25	3a	3.83	9a	3.83	1.44a	0.11
<i>Hedyosmum luteynii</i>	5	37a	19.97	37a	13.22	8a	4.62	7a	6.00	0.93a	0.09
	8	50a	12.44	29a	10.52	4a	0.00	8a	3.27	0.87a	0.01
	10.38	45a	11.94	26a	7.66	6a	2.31	11a	5.03	0.84a	0.05
<i>Oreopanax avicenniifolius</i>	5	25a	5.03	4a	3.27	0b	0.00	70a	6.93	2.29a	0.19
	8	35a	10.00	2a	4.00	1b	2.00	61a	9.45	2.16a	0.18
	9.47	21a	3.83	5a	2.00	6a	2.31	66a	5.16	2.25a	0.23

Leyenda: n=4, DE = desviación estándar, diferentes letras significan diferencias significativas entre grupos de acuerdo a Tukey ($p < 0.05$).

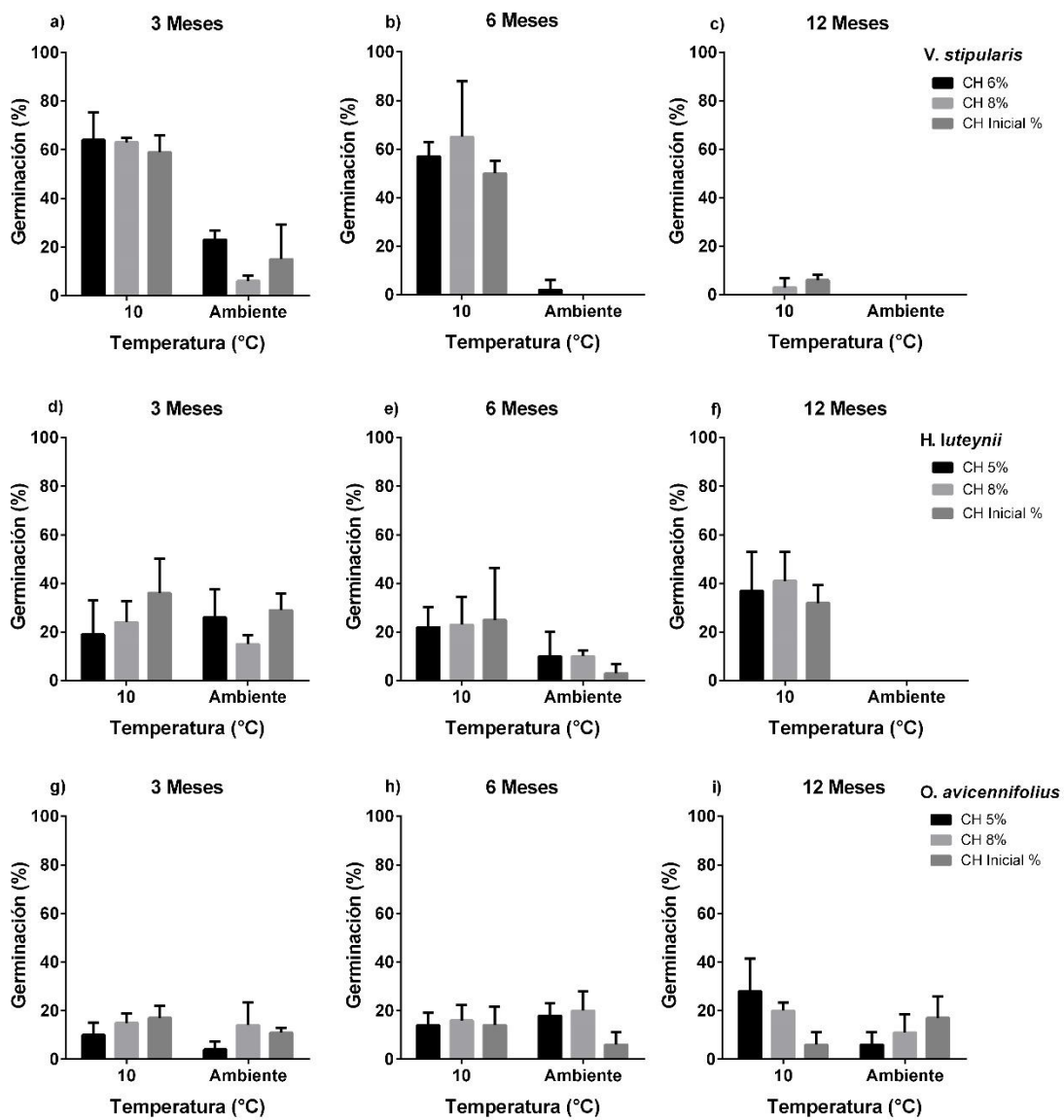


Figura 2. Porcentaje de germinación de *Vallea stipularis* (a,b,c), *Hedyosmum luteynii* (d,e,f) y *Oreopanax avicenniifolius* (g,h,i), almacenadas en tres niveles de contenido de humedad (CH) de las semillas, a 10°C y temperatura ambiente, durante 3, 6 y 12 meses. Las barras representan el error estándar.

Tabla 4. Influencia de los factores de almacenamiento de semillas (tiempo, temperatura, CH (contenido de humedad)) y sus interacciones en el porcentaje de germinación, viabilidad, semillas podridas, vacías y CVG (coeficiente de velocidad de germinación) de tres especies forestales nativas mediante Modelos Lineales Generalizados (GLM).

Especies	Factores	Germinación (%)		Viabilidad (%)		Pudrición (%)		Vacías (%)		CVG	
		Df	p value	Df	p value	Df	p value	Df	p value	Df	p value
<i>Vallea stipularis</i>	Tiempo	2	< 0.001	2	0.015	2	< 0.001	2	< 0.001	2	< 0.001
	CH	2	0.430	2	0.036	2	< 0.001	2	0.117	2	0.830
	Temperatura	1	< 0.001	1	0.328	1	< 0.001	1	0.168	1	0.564
	Tiempo:CH	3	0.141	4	< 0.001	4	0.003	4	0.820	3	0.238
	Tiempo:Temperatura	1	0.806	1	0.002	2	< 0.001	1	0.178	1	0.178
	CH:Temperatura	2	0.018	2	0.002	2	0.014	2	0.069	2	0.257
	Tiempo:CH:Temperatura			2	0.012	4	0.060				
<i>Hedyosmum luteynii</i>	Tiempo	2	< 0.001	2	0.028	2	< 0.001	2	0.210	2	0.002
	CH	2	0.244	2	0.001	2	< 0.001	2	0.963	2	0.698
	Temperatura	1	0.005	1	0.004	1	0.0231	1	0.147	1	0.090
	Tiempo:CH	4	0.253	4	0.001	4	< 0.001	1	0.094	4	0.104
	Tiempo:Temperatura	1	0.014	2	0.017	2	0.046	2	0.830	1	0.001
	CH:Temperatura	2	0.097	2	0.001	2	< 0.001	2	0.524	2	0.074
	Tiempo:CH:Temperatura			4	0.001	4	0.001	1	0.544	2	0.539
<i>Oreopanax avicenniifolius</i>	Tiempo	2	0.244	1	0.427	2	0.021	2	0.862	2	< 0.001
	CH	2	0.100	2	0.351	2	0.321	2	0.640	2	0.515
	Temperatura	1	0.023	1	0.400	1	0.999	1	0.174	1	0.155
	Tiempo:CH	4	0.042	2	0.744	4	0.231	2	0.319	4	0.236
	Tiempo:Temperatura	2	0.222	2	0.367	2	0.663	1	0.644	2	0.003
	CH:Temperatura	2	0.154	2	0.367	2	0.135	2	0.858	2	0.311
	Tiempo:CH:Temperatura	4	< 0.001	4	0.001	4	0.001	4	0.001	4	0.537

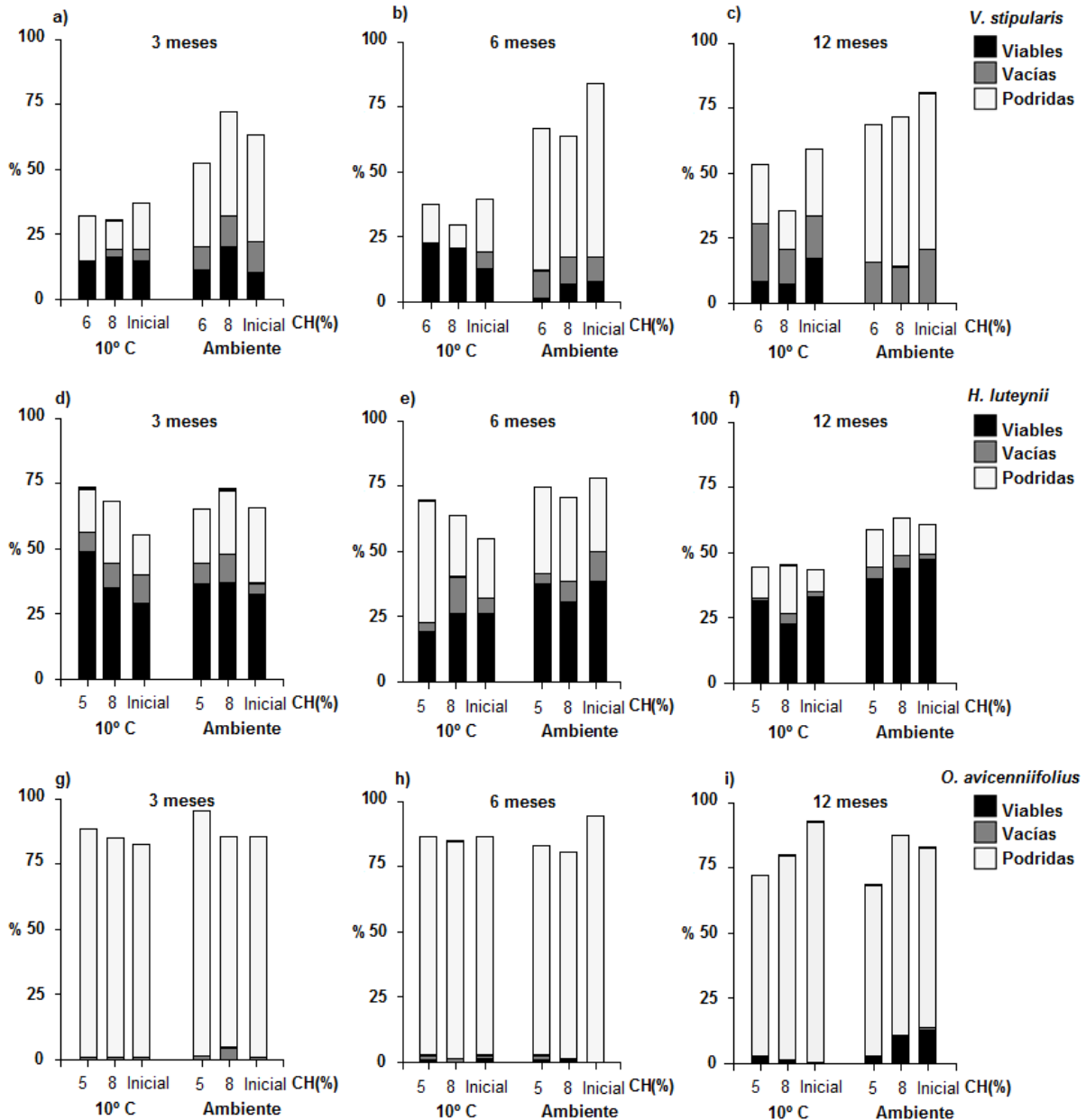


Figura 3. Porcentaje de semillas viables, vacías y podridas de *Vallea stipularis* (a,b,c), *Hedyosmum luteynii* (d,e,f) y *Oreopanax avicenniifolius* (g,h,i), almacenadas en tres niveles de contenido de humedad (CH) de las semillas, a 10°C y temperatura ambiente, durante 3, 6 y 12 meses.

CH presentó valores bajos de germinación (2%) (Fig. 2b), y tal como se esperaba, a los 12 meses la germinación fue nula (Fig. 2c). Los factores que estadísticamente influyeron en la germinación fue el tiempo y temperatura ($p < 0.001$) y la interacción entre CH y temperatura ($p = 0.018$) (Tabla 4).

En *H. luteynii* las semillas almacenadas durante 3, 6 y 12 meses, a 10°C con diferentes niveles de contenido de humedad de las semillas, presentaron porcentajes de germinación que oscilaron entre 20 y 40%, existiendo un patrón en el incremento del porcentaje de germinación a medida que transcurre el tiempo de almacenamiento (Fig. 2d,e,f). Por el contrario, los tratamientos de almacenamiento a temperatura ambiente, a partir del sexto mes de almacenamiento empezaron a disminuir su capacidad germinativa con valores menores al 10% (Fig.

2e), y a los 12 meses de almacenamiento en los diferentes niveles de CH, no se registró valores de germinación (Fig. 2f). Los factores que influenciaron significativamente fueron el tiempo ($p < 0.001$), la temperatura ($p = 0.005$), y su interacción ($p = 0.014$) (Tabla 4).

En general, *O. avicenniifolius* presentó bajos porcentajes de germinación a los 3, 6 y 12 meses de almacenamiento (Fig. 2g,h,i), con valores máximos de germinación del 28% en semillas almacenadas a 10°C con 5% de CH a los 12 meses (Fig. 2i). El factor que influyó significativamente en la germinación fue la temperatura ($p = 0.023$) y las interacciones entre tiempo y CH ($p = 0.042$); y tiempo, CH y temperatura ($p < 0.001$) (Tabla 4).

3.3. Efecto de las diferentes condiciones de almacenamiento sobre el porcentaje de semillas viables, vacías y podridas de tres especies forestales nativas

Las semillas de *V. stipularis* almacenadas durante 3 y 6 meses a 10°C, con los tres niveles de CH, presentaron porcentajes de viabilidad entre 15 a 20% (Fig. 3a,b), sin embargo, a los 12 meses existió un descenso de la viabilidad (<10%) principalmente en semillas con contenidos de humedad del 6 y 8% (Fig. 3c). La viabilidad de las semillas almacenadas a temperatura ambiente fue descendiendo a medida que trascurría el tiempo de almacenamiento; de esta manera, a los 12 meses las semillas almacenadas bajo estas condiciones perdieron totalmente su viabilidad. En general, se observó que las semillas almacenadas a temperatura ambiente presentaron porcentajes más altos de pudrición con un valor máximo del 67% (Fig. 3a,b,c). Por otro lado, se observó un bajo porcentaje de semillas vacías en las diferentes condiciones de almacenamiento (Fig. 3a,b,c), aunque tuvo un incremento principalmente a los 12 meses de almacenamiento (Fig. 3c). Los factores que influenciaron significativamente en la viabilidad fueron el tiempo ($p=0.015$) y CH ($p=0.036$) y todas sus interacciones ($p<0.05$) (Tabla 4). Para la variable pudrición tanto los factores solos y sus interacciones fueron estadísticamente significativos ($p<0.05$), excepto la interacción de los tres factores ($p=0.060$). Para las semillas vacías, el factor que mayor influencia fue el tiempo de almacenamiento ($p<0.001$) (Tabla 4).

Las semillas de *H. luteynii* almacenadas durante 3 meses, a 10°C, con los distintos niveles de CH, presentaron porcentajes de viabilidad que oscilaron entre 29 a 48%; a los 12 meses, existió un leve descenso que varió del 23 al 33% (Fig. 3d,f). Los tratamientos de almacenamiento a temperatura ambiente, pese a haber presentado niveles bajos o nulos de germinación, mantuvieron la viabilidad de las semillas entre 30 a 47%, a los 3, 6 y 12 meses (Fig. 3d,e,f). Los factores que tuvieron influencia significativa en la viabilidad fue el tiempo ($p=0.028$) y la temperatura ($p=0.004$) y su interacción ($p=0.017$). Para la variable pudrición se encontró diferencias significativas por cada factor evaluado y todas sus interacciones ($p<0.05$) y contrariamente para la variable semillas vacías no hubo significancia estadística ($p>0.05$) (Tabla 4).

Los resultados de viabilidad de *O. avicenniifolius* demostraron que debido a los altos porcentajes de pudrición superior al 65% en todos los tratamientos de almacenamiento, su viabilidad fue baja (Fig. 3g,h,i). No obstante, las semillas mantienen la viabilidad, aunque en bajos porcentajes (máximo 13%) a los 12 meses de almacenamiento, especialmente a temperatura ambiente (Fig. 3i). No se encontró diferencias significativas para la variable viabilidad y semillas vacías ($p>0.05$), mientras que para la variable pudrición, influyó significativamente el factor tiempo ($p=0.021$) y la interacción entre los tres factores evaluados ($p=0.001$) (Tabla 4).

3.4. Efecto de diferentes condiciones de almacenamiento sobre la velocidad de germinación de tres especies forestales nativas

Las semillas de *V. stipularis* almacenadas, durante 3 y 6 meses, empezaron a germinar a partir de los 51 y 39 días después de la siembra respectivamente (Fig. 4a,b), con CVG que varió entre 1.4 a 1.6, mientras que a los 12 meses

y 10°C, los valores del CVG fueron los más bajos, lo que indica una germinación lenta y con bajos porcentajes de germinación (Tabla 5). Además, se observó que las semillas expuestas a 10°C con sus tres combinaciones de CH presentaron los mayores porcentajes de germinación acumulativa (superior al 50%) principalmente a los tres meses (Fig. 4a). Lo contrario fue observado para las semillas almacenadas a temperatura ambiente, con todos los niveles de contenido de humedad, los cuales presentaron bajos porcentajes de germinación acumulativa en los periodos que se registró germinación, y tuvieron valores de CVG inferior al 1.1 a los 6 meses de almacenamiento (Fig. 4a,b) (Tabla 5). Se encontró que el tiempo de almacenamiento tuvo una significancia estadística para el CVG ($p<0.001$) (Tabla 4).

En general, *H. luteynii* presentó una germinación tardía, cuyas semillas almacenadas a 3 y 6 meses, iniciaron su germinación a los 69 días después de la siembra y tuvieron valores de CVG de alrededor del 1.2 (Fig. 4d,e) (Tabla 5). También se encontraron valores inferiores a 0.9 principalmente a los 6 meses de almacenamiento (Tabla 5), lo que indica que en este periodo la germinación fue lenta, menor sincronía y bajos porcentajes de germinación acumulativa, especialmente en las semillas almacenadas a temperatura ambiente (Fig. 4e). A los 12 meses, las semillas almacenadas a 10°C y germinaron a los 73 días; sin embargo, presentaron los valores más altos de germinación acumulativa y los valores de CVG corresponden a 1.1 (Fig. 4f) (Tabla 5). Se encontró que el factor tiempo ($p=0.002$) y su interacción con la temperatura ($p=0.001$) tuvo una significancia estadística (Tabla 4).

Los resultados indicaron que las semillas de *O. avicenniifolius* iniciaron su germinación a partir de 47, 39 y 42 días después de la siembra para los periodos 3, 6 y 12 meses, respectivamente (Fig. 4g,h,i). En cuanto a los CVG, estos oscilaron entre 1.4 a 2.6, siendo los tratamientos de temperatura ambiente los que presentaron menores valores (Tabla 5), lo cual muestra que en esta temperatura las semillas tuvieron menor porcentaje de germinación acumulativa.

4. DISCUSIÓN

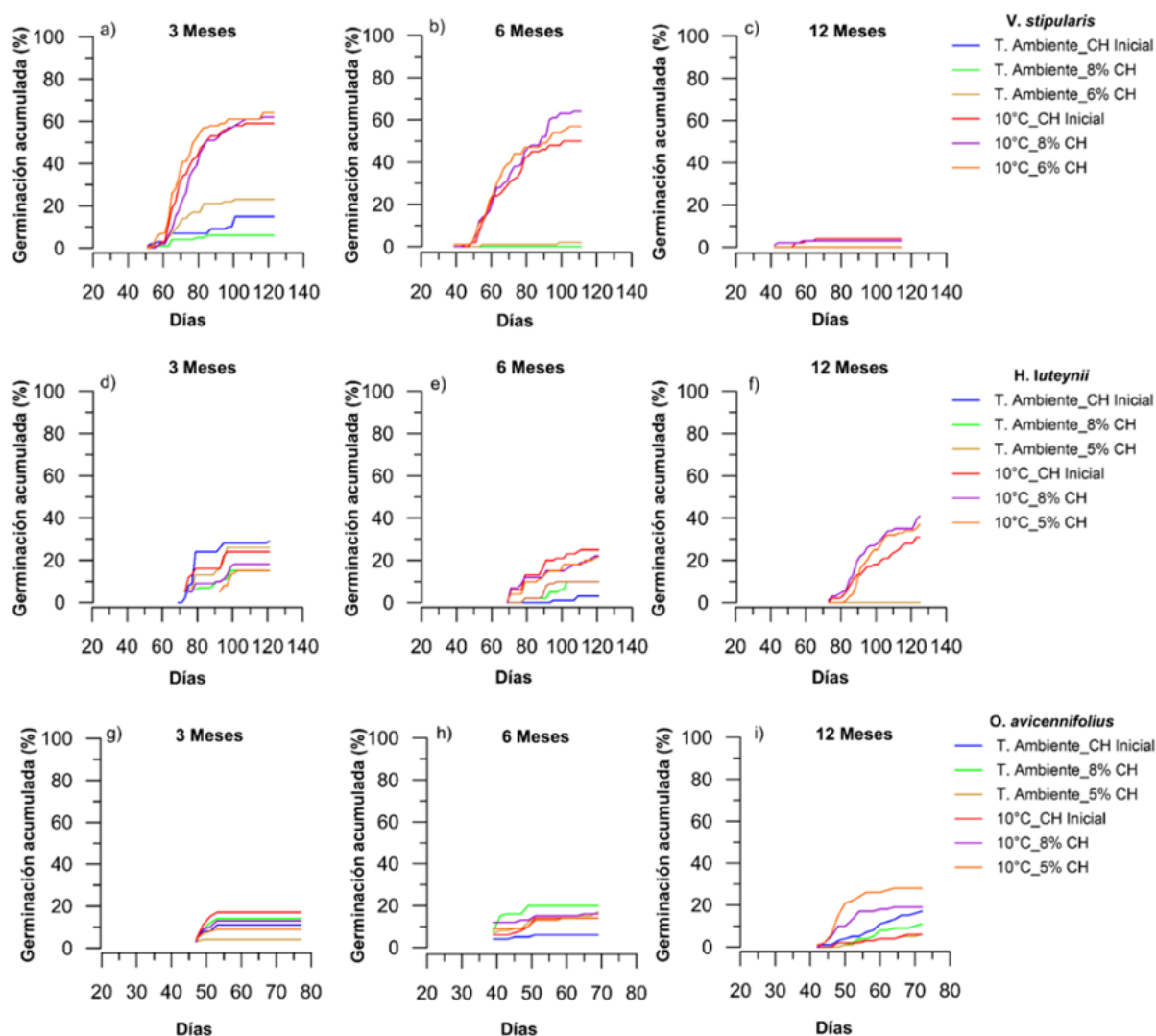
Con base a los resultados sobre el contenido de humedad inicial de las semillas y su respuesta al almacenamiento bajo diferentes condiciones, se demostró que las tres especies forestales nativas estudiadas corresponden a semillas ortodoxas (Jiménez & Patiño, 2019), y además se notó que el comportamiento al almacenamiento depende de la especie, siendo la temperatura y el tiempo de almacenamiento, los factores más influyentes en las variables evaluadas.

V. stipularis, a los 12 meses de almacenamiento en condiciones de 10°C; y a temperatura ambiente a partir del tercer mes de almacenamiento, se redujo drásticamente su capacidad germinativa, viabilidad y velocidad de germinación, e incluso al final del periodo de almacenamiento presentó valores nulos principalmente a temperatura ambiente. Estos hallazgos han sido reportados por otros autores, quienes indicaron que el almacenamiento afecta negativamente a la germinación, viabilidad y calidad de la semilla, debido al deterioro fisiológico natural de los embriones de las semillas,

Tabla 5. Valores promedios de los coeficientes de velocidad de germinación (CVG) de tres especies forestales nativas almacenadas con tres niveles de contenido de humedad (CH) de las semillas, a 10°C y temperatura ambiente, durante 3, 6 y 12 meses.

Tratamientos	<i>V. stipularis</i>			<i>H. luteynii</i>			<i>O. avicenniifolius</i>		
	3 m	6m	12 m	3m	6m	12 m	3m	6 m	12 m
T. Ambiente_CH Inicial	1.5	SG	SG	1.2	0.5	SG	2.2	1.9	2.0
T. Ambiente_8% CH	1.6	SG	SG	1.2	1.1	SG	2.2	2.6	1.4
T. Ambiente_6 o 5% CH	1.5	0.3	SG	1.2	0.8	SG	1.7	2.4	1.4
10°C_CH Inicial	1.5	1.5	0.9	1.2	0.9	1.1	2.2	2.4	1.5
10°C_8% CH	1.4	1.4	1.1	1.1	1.2	1.1	2.1	2.6	2.2
10°C_6 o 5% CH	1.5	1.5	SG	0.8	1.2	1.1	2.2	2.4	2.3

SG= Sin germinación

**Figura 4.** Porcentaje de germinación acumulativa de *Vallea stipularis* (a,b,c), *Hedyosmum luteynii* (d,e,f) y *Oreopanax avicenniifolius* (g,h,i), almacenadas con tres niveles de contenido de humedad (CH) de las semillas, a 10°C y temperatura ambiente, durante 3, 6 y 12 meses.

principalmente como resultado de los cambios de proteínas, la formación de radicales libres y oxidación de lípidos en las semillas durante el almacenamiento (Bailly, 2004; Pukacka & Ratajczak, 2007; Çakmak *et al.*, 2010; Shahidi & Zhong, 2010; Rajjou *et al.*, 2012; Bourgeois, Lemay, Landry, Rochefort, & Poulin, 2019; Tian, Lv, Yuan, Zhang, & Hu, 2019).

H. luteynii a 10°C, durante 12 meses de almacenamiento, mantuvo porcentajes de germinación y viabilidad similares a los valores iniciales de semillas sin almacenamiento. Además, se evidenció un incremento de la germinación a medida que transcurre el tiempo de almacenamiento; esto sugiere que las semillas pueden tener dormancia (Varela & Arana, 2011). Curtis (2013) menciona que algunas especies presentan embriones

morfológicamente completos, pero fisiológicamente inmaduros lo que repercute en la capacidad germinativa. Conforme el embrión alcanza un estado de madurez fisiológica, la dormancia disminuye (Ceballos & López, 2007; Jimenez, Alche, Wang, & Rodríguez, 2007). Shu, Liu, Xie, & He (2016) indican que, durante la maduración, el embrión se mantiene en un estado de reposo, no moviliza casi ningún nutriente almacenado y no presenta división celular, ni alargamiento. Además, Née, Xiang, & Soppe (2017) manifiestan, que las semillas recién cosechadas tienen una latencia relativamente alta y se libera gradualmente durante el almacenamiento de semillas. Por otra parte, nuestros resultados indican que la alta germinación de semillas almacenadas a bajas temperaturas (10°C) en el último periodo evaluado, se debe a que probablemente hay una disminución del Ácido Abscísico (ABA) endógeno presente en las semillas con latencia (Baskin & Baskin, 2001, 2003).

Los tratamientos de almacenamiento a temperatura ambiente de *H. luteynii*, a partir del sexto mes, empezaron a disminuir su capacidad germinativa y a los 12 de almacenamiento, no se registró valores de germinación. Por lo tanto, el almacenamiento a condiciones de temperatura ambiental no beneficia a *V. stipularis* y *H. luteynii*. De ahí que, Ceballos & López (2007), señalan que las semillas almacenadas a esta temperatura continúan con los procesos de respiración e incrementan la tasa metabólica, dando lugar a la oxidación o destrucción de algunos lípidos, proteínas y enzimas, causando el deterioro de la semilla y hasta la muerte del embrión, afectando la germinación. Los resultados obtenidos coinciden con un estudio realizado por Procházková & Bezděčková (2008) en *Fagus sylvatica*, quienes concluyen que almacenar estas semillas a 20°C tiene un efecto negativo en su germinación.

Por otro lado, a pesar de que *H. luteynii* tuvo un porcentaje de germinación reducido en condiciones de almacenamiento a temperatura ambiente, la viabilidad de sus semillas almacenadas fue alta hasta los 12 meses de almacenamiento, esto sugiere que la dormancia puede ser en un tiempo superior al año, lo cual condiciona la germinación. Uno de los factores que explican este comportamiento, es que hay un aumento endógeno de ABA y una menor concentración de giberelinas (GA) en las semillas (Kudred & Sener, 1990; Ali *et al.*, 2004; Kucera, Cohn, & Leubner-Metzger, 2005). Conforme a un estudio realizado por Ribeiro & Costa (2015), recomiendan someter a las semillas a condiciones de baja temperatura para estimular la germinación, pues se conoce que la estratificación fría es un método recomendado para romper la dormancia, principalmente especies adaptadas a climas fríos. Por tanto, más investigaciones son necesarias para acelerar la germinación, pues se conoce que, en función de la temperatura de almacenamiento, la dormancia puede aumentar o desaparecer (Geneve, 2003).

Las semillas de *O. avicenniifolius*, presentaron germinación más temprana, con mayor sincronización, pero con bajos porcentajes de germinación y altos de pudrición. Siddique & Wright (2003), afirman que cuando el contenido de humedad es demasiado alto, las semillas pueden ser susceptible a la contaminación por hongos, pero esto no coincide con los resultados del contenido de humedad para esta especie, debido a que su valor inicial está por debajo del 10%. De ahí que, Schmidt (2000) manifiesta que la baja calidad genética de las semillas, puede ser un factor determinante en el deterioro y aumento

de la susceptibilidad por la infección de hongos. Por tanto, varios autores sugieren que las colecciones de semillas deben considerar la variabilidad genética en una población y su calidad de semillas, para evitar problemas en el almacenamiento y por ende en la germinación (Lengkeek, Jaenicke, & Dawson, 2005; Pakkad *et al.*, 2008; Thomas *et al.*, 2014).

5. CONCLUSIONES

En general, los factores independientes que jugaron un rol importante en la conservación de las semillas fueron el tiempo y la temperatura, mientras que la reducción del contenido de humedad de semillas no influyó en el mantenimiento de la viabilidad de las semillas. A nivel de especies, hubo una respuesta diferente al almacenamiento, aunque *V. stipularis* y *H. luteynii*, claramente pierden su capacidad de germinación en condiciones de almacenamiento a temperatura ambiente y conforme pasa el tiempo de almacenamiento. *O. avicenniifolius* presentó una germinación temprana y rápida, pero con bajos porcentajes de germinación debido a su alta pudrición. Sin embargo, mantuvo su capacidad germinativa hasta los 12 meses de almacenamiento en las dos temperaturas evaluadas. A pesar de los hallazgos de este estudio, otras investigaciones son necesarias en el contexto del almacenamiento de semillas, pues se debe considerar la evaluación de la respuesta de las semillas en tiempos más prolongados, a menor temperatura de almacenamiento e incluir más especies forestales con fines de conservación y restauración en experimentos de almacenamiento. Así como también evaluar la calidad de plántula posterior al almacenamiento es necesario.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo presentando estuvo en el marco del proyecto de investigación “Efectos del cambio climático en la capacidad germinativa de semillas y producción de plántulas de especies forestales nativas en la provincia del Azuay”, ganador del XIII Concurso de Proyectos de Investigación de la Dirección de Investigación de la Universidad de Cuenca. Los autores agradecen al Ministerio del Ambiente (Zonal 6) y a la Empresa Pública Municipal de Telecomunicaciones, Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de Cuenca (ETAPA), por los permisos de investigación y la coordinación mensual para el ingreso a los bosques de Mazán y Llaviucu, respectivamente. Un agradecimiento para Andrea Maza y Shannon Serpa por su apoyo en el laboratorio.

REFERENCIAS

- Ali, S., Bouinot, D., Wagner, M. H., Bonnet, M., Sotta, B., Grappin, P., & Jullien, M. (2004). Changes in endogenous abscisic acid levels during dormancy release and maintenance of mature seeds: Studies with the Cape Verde Islands ecotype, the dormant model of *Arabidopsis thaliana*. *Planta*, 219(3), 479-488. <https://doi.org/10.1007/s00425-004-1251-4>

- Bailly, C. (2004). Active oxygen species and antioxidants in seed biology. *Seed Science Research*, 14(2), 93-107. <https://doi.org/10.1079/ssr2004159>
- Baskin, C. C., & Baskin, J. M. (2001). *Seeds: ecology, biogeography, and evolution of dormancy and germination*. San Diego, USA: Academic Press.
- Baskin, C. C., & Baskin, J. M. (2003). *Seed germination and propagation of Xyris tennesseensis a federal endangered wetland species*. *Wetlands* (Vol. 23). doi:[https://doi.org/10.1672/0277-5212\(2003\)023\[0116:sgapox\]2.0.co;2](https://doi.org/10.1672/0277-5212(2003)023[0116:sgapox]2.0.co;2)
- Baskin, C. C., & Baskin, J. M. (2014). *Variation in seed dormancy and germination within and between individuals and populations of a species*. *Seeds: Ecology, biogeography and evolution of dormancy and germination*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-4166776.00008-1>
- Bates, D., Machler, M., Bolker, B., & Walker, S. (2015). Fitts VCFR4ZAng linear mixed-effects models using lme4. *Journal of Statistical Software*, 67, 1-48. <http://dx.doi.org/10.18637/jss.v067.i01>
- Bewley, J. D., Bradford, K. J., Hilhorst, H. W. M., & Nonogaki, H. (2013). *Seeds: physiology of development, germination and dormancy*. New York, USA: Springer.
- Bourgeois, B., Lemay, M. A., Landry, T., Rochefort, L., & Poulin, M. (2019). Seed storage behaviour of eight peatland pool specialists: Implications for restoration. *Aquatic Botany*, 152, 59-63. <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2018.09.008>
- Çakmak, T., Atici, O., Agar, G., & Sunar, S. (2010). Natural aging-related biochemical changes in alfalfa (*Medicago sativa* L.) seeds stored for 42 years. *International Research Journal of Plant Science*, 1(1), 001-006.
- Ceballos, Á., & López, J. (2007). Conservación de la calidad de semillas forestales nativas. *Almacenamiento*, 58(4), 265-292.
- Courtis, A. (2013). *Germinación de semillas: Cátedra de fisiología vegetal carreras*. Universidad Nacional del Nordeste, Argentina, 1-22. Disponible en <https://docplayer.es/12165022-Catedra-de-fisiologia-vegetal.html>
- Defries, R. S., Rudel, T., Uriarte, M., & Hansen, M. (2010). Deforestation driven by urban population growth and agricultural trade in the twenty-first century. *Nature Geoscience*, 3(3), 178-181. <https://doi.org/10.1038/ngeo756>
- Doria, J. (2010). Generalidades sobre las semillas: su producción, conservación y almacenamiento. *AGRIS*, 31(1), 74-85.
- Estrella, J., Manosalvas, R., Mariaca, J., & Ribadeneira, M. (2005). *Biodiversidad y recursos genéticos: Una guía para su uso y acceso en el Ecuador*. Quito, Ecuador: EcoCiencia.
- FAO. (2012). *El estado de los recursos genéticos forestales en el mundo. Informe Nacional Ecuador*. Quito. Disponible en <http://www.fao.org/3/i3825e/i3825e20.pdf>
- FAO, FIDA, & PMA. (2014). *El estado de la inseguridad alimentaria en el mundo 2014. Fortalecimiento de un entorno favorable para la seguridad alimentaria y la nutrición*. Rome, Italy: FAO. Disponible en <http://www.fao.org/3/a-i4030s.pdf>
- Gentil, D. F. de O. (2001). Conservação de sementes do caféiro: Resultados discordantes ou complementares? *Bragantia*, 60(3), 149-154.
- Geneve, R. L. (2003). Impact of temperature on seed dormancy. *HortScience: a publication of the American Society for Horticultural Science*, 38(3), 336-341. doi:10.21273/HORTSCI.38.3.336
- Grijalva, J., Ximena, C., Ramos, R., Barrera, P., Vera, R., & Sigcha, F. (2015). *Estado de los recursos genéticos forestales en Ecuador*. Programa Nacional de Forestería del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias. (Publicación). Retrieved from <http://181.112.143.123/bitstream/41000/2827/1/iniapsc322est.pdf>
- ISTA. (2007). *International rules for seed testing* (Vol. 5). <https://www.seedtest.org/en/home.html>
- Jimenez, J., Alche, J., Wang, W., & Rodríguez, M. (2007). Alpeoruyo y semillas de olivo presentan el mismo tipo de proteínas de almacenamiento. En: Olivar, F. D. (Ed.), *Simposium Científico Técnico del Año 2005*, (págs. 365 - 376). doi:978-84-934503-0-4
- Jiménez, J., & Patiño, C. (2019). *Germinación, desarrollo inicial y supervivencia de plántulas bajo diferentes condiciones de almacenamiento de semillas de tres especies nativas de bosques del Parque Nacional Cajas* (Universidad de Cuenca). Retrieved from <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/32802>
- Kindt, R., Lillesø, J.-P. B., Mborara, A., Muriuki, J., Wambugu, C., Frost, W., ... Holding-Anyonge, C. (2006). *Tree seeds for farmers: a toolkit and reference source*. Nairobi, Kenya. Disponible en <http://www.worldagroforestry.org/output/tree-seeds-farmers-toolkit-and-reference-source>
- Kucera, B., Cohn, M. A., & Leubner-Metzger, G. (2005). Plant hormone interactions during seed dormancy release and germination. *Seed Science Research*, 15(4), 281-307. <https://doi.org/10.1079/SSR2005218>
- Kudred, K., & Sener, B. (1990). Effects of kinetin and gibberellic acid in overcoming high temperature and salinity (NaCl) stresses on the germination of barley and lettuce. *Seeds Phyton (Horn, Austria)*, 30(1), 65-74.
- Lengkeek, G., Jaenicke, H., & Dawson, K. (2005). Genetic bottlenecks in agroforestry systems: Results of tree nursery surveys in East Africa. *Agroforestry Systems*, 63(2), 149-155. <https://doi.org/10.1007/s10457-004-9155-7>
- Ministerio del Ambiente. (2019). *Plan Nacional de Restauración Forestal 2019-2030*. Quito, Ecuador.
- Myers, N., Mittermeier, R. A., Mittermeier, C. G., da Fonseca, G. A. B., & Kent, J. (2000). Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, 403(6772), 853-858. <https://doi.org/10.1038/35002501>
- Née, G., Xiang, Y., & Soppe, W. J. (2017). The release of dormancy, a wake-up call for seeds to germinate. *Current Opinion in Plant Biology*, 35, 8-14. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2016.09.002>
- Palomeque, X., Maza, A., Iñamagua, J. P., Günter, S., Hildebrandte, P., Weber, M., Stimm, B. (2017). Variabilidad intraespecífica en la calidad de semillas de especies forestales nativas en bosques montanos en

- el sur del Ecuador: Implicaciones para la restauración de bosques. *Revista de Ciencias Ambientales (Trop J Environ Sci)*, 51(2), 52-72.
- Pakkad, G., Al Mazrooei, S., Blakesley, D., James, C., Elliott, S., Luoma-Aho, T., & Koskela, J. (2008). Genetic variation and gene flow among *Prunus cerasoides* D. Don populations in northern Thailand: Analysis of a rehabilitated site and adjacent intact forest. *New Forests*, 35(1), 33-43. <https://doi.org/10.1007/s11056-007-9059-2>
- Pammenter, N. W., & Berjak, P. (2000). *Semillas Ortodoxas y Recalcitrante*. Obtenido de Manual de Semillas de Árboles Tropicales: https://rngr.net/publications/manual-de-semillas-de-arboles-tropicales/parte-i/semillas-ortodoxas_yrecalcitrantes/at_download/file
- Pinheiro, J., Bates, D., DebRoy, S., & Sarkar, D. (2018). *nlme: Linear and nonlinear mixed effects models. R package version 3.5.1*. Obtenido de <https://CRAN.R-project.org/package=nlme>.
- Pritchard, H. W., & Dickie, J. B. (2003). *Predicting seed longevity: the use and abuse of seed viability equations*. Chapter 35, 1-70. Disponible en https://www.academia.edu/17275313/Predicting_seed_longevity_the_use_and_abuse_of_seed_viability_equations?auto=download
- Pritchard, H. W. (2004). *Classification of seed storage types for ex situ conservation in relation to temperature and moisture*. Washington D.C., USA.
- Procházková, Z., & Bezděčková, L. (2008). Effects of moisture content, storage temperature and type of storage bag on the germination and viability of stored European beech (*Fagus sylvatica* L.) seeds. *Journal of Forest Science*, 54(7), 287-293.
- Pukacka, S., & Ratajczak, E. (2007). Age-related biochemical changes during storage of beech (*Fagus sylvatica* L.) seeds. *Seed Science Research*, 17(1), 45-53. <https://doi.org/10.1017/S0960258507629432>
- Rajjou, L., Duval, M., Gallardo, K., Catusse, J., Bally, J., Job, C., & Job, D. (2012). Seed Germination and Vigor. *Annual Review of Plant Biology*, 63(1), 507-533. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-042811-105550>
- R Core Team. (2018). R: A language and environment for statistical computing. Disponible en <https://www.R-project.org/>
- Ribeiro, J., & Costa, C. (2015). The effect of temperature regulation on seed germination of the tropical tree *Myrsine parvifolia* A. DC near its southern limit. *South African Journal of Botany*, 98, 128-133. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2015.02.012>
- Romero-Saritama, J. M. (2018). Seed conservation: An alternative to store germplasm and recover threatened Ecuadorian forests. *Neotropical Biology and Conservation*, 13(1), 74-85. <https://doi.org/10.4013/nbc.2018.131.09>
- Royal Botanic Gardens Kew. (2015). *Seed Information Database(SID). Version 7.1*. Disponible en <http://data.kew.org/sid/>
- Schmidt, L. H. (2000). *Guide to handling of tropical and subtropical forest seed*. Danida Forest Seed Centre, Hoersholm, Denmark.
- Shahidi, F., & Zhong, Y. (2010) Lipid oxidation and improving the oxidative stability. *Chemical Society Reviews*, 39, 4067-4079. <http://dx.doi.org/10.1039/b922183m>
- Shu, K., Liu, X. D., Xie, Q., & He, Z. H. (2016). Two faces of one seed: Hormonal regulation of dormancy and germination. *Molecular Plant*, 9(1), 34-45. <https://doi.org/10.1016/j.molp.2015.08.010>
- Siddique, A. B., & Wright, D. (2003). Effects of different seed drying methods on moisture percentage and seed quality (viability and vigour) of Pea Seeds (*Pisum sativum* L.). *Asian Journal of Plant Sciences*, 2(13), 978982. <https://doi.org/10.3923/ja.2003.201.208>
- Sierra, R. (1999). *Propuesta preliminar de un sistema de clasificación de vegetación para el Ecuador Continental [Preliminary proposal of a vegetation classification system for Continental Ecuador]*. 175 p. <https://doi.org/10.13140/2.1.4520.9287>
- Smith, J. R., Mengistu, A., Nelson, R. L., & Paris, R. L. (2008). Identification of soybean accessions with high germinability in high-temperature environments. *Crop Science*, 48(6), 2279-2288. <https://doi.org/10.2135/cropsci2008.01.0026>
- Thomas, E., Jalonen, R., Loo, J., Boshier, D., Gallo, L., Cavers, S., ... Bozzano, M. (2014). Forest ecology and management genetic considerations in ecosystem restoration using native tree species. *Forest Ecology and Management*, 333(2014), 66-75. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2014.07.015>
- Tian, P. P., Lv, Y. Y., Yuan, W. J., Zhang, S. B., & Hu, Y. Sen. (2019). Effect of artificial aging on wheat quality deterioration during storage. *Journal of Stored Products Research*, 80, 50-56. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2018.11.009>
- Varela, S., & Arana, V. (2011). Latencia y germinación de semillas. Tratamientos pregerminativos. *Serie Técnica - Sistemas Forestales Integrados*, 3(1), 10.
- Velasquez, J. S., Montero, A. R., & Tapia, C. G. (2008). *Semillas tecnología de producción y conservación*. Quito, Ecuador: INIAP, Estación Experimental Santa Catalina, Departamento de Producción de Semillas. Disponible en <http://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/56/1/iniapsc280.pdf>
- Walters, C., Wheeler, L. M., & Grotenhuis, J. (2005). Longevity of seeds stored in a gene bank: species characteristics. *Seed Science Research*, 15(1), 1-20. <https://doi.org/10.1079/SSR2004195>



Artículo científico / Research paper

Evaluación de la calidad del agua de los ríos de la ciudad de Cuenca, Ecuador

Water quality assessment of the rivers of Cuenca city in Ecuador

Guillermina Pauta¹ , María Velasco¹, Daniela Gutiérrez¹, Gabriela Vázquez¹ , Santiago Rivera², Óscar Morales², Andrea Abril¹ 

¹ Laboratorio de Sanitaria, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador.

² Integrated Water Quality Management Project, VLIR, Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador.

Autor para correspondencia: guillermina.pauta@ucuenca.edu.ec

Fecha de recepción: 10 de abril de 2019 - Fecha de aceptación: 12 de diciembre de 2019

RESUMEN

Se evaluó la calidad del agua de los ríos Tarqui, Yanuncay, Machángara y Tomebamba, afluentes del río Paute. En línea con la necesidad de incorporar nuevos enfoques en la vigilancia de la calidad del agua, este estudio aplicó el ampliamente conocido Water Quality Index (QWI) pero, en lugar de utilizar los nueve parámetros originalmente requeridos por el método, utilizamos 18 parámetros fisicoquímicos y microbiológicos. Para cada río, se llevaron a cabo nueve campañas de monitoreo, cubriendo períodos hidrológicos representativos y midiendo descargas de flujo. Los resultados muestran que, en general, en las áreas de captación de los ríos, el recurso hídrico es adecuado para casi todo tipo de uso, pero gradualmente, a medida que avanza aguas abajo, la calidad disminuye debido a las descargas de aguas residuales sanitarias, industriales y a factores naturales como escorrentía o sedimentos por erosión. La condición más crítica de calidad de las aguas evaluadas se presentó durante las condiciones de sequía, principalmente debido a la disminución del oxígeno disuelto y al aumento de la temperatura, la salinidad, la materia orgánica y las bacterias coliformes. Por otro lado, durante los períodos lluviosos, los parámetros indicadores de una disminución en la calidad del agua fueron el color, la turbidez, y el contenido de nutrientes como fósforo y nitrógeno. En general, los ríos tienen mejor calidad para condiciones de flujo medio, que prevalecen durante la mayor parte del año. Los presentes resultados se analizaron de acuerdo con los objetivos de calidad establecidos en estudios anteriores, permitiendo una evaluación cualitativa del sistema de intercepción y tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Cuenca, Ecuador.

Palabras clave: Índice de calidad del agua, contaminación, usos del agua, ICA, Paute.

ABSTRACT

The water quality of the Tarqui, Yanuncay, Machángara and Tomebamba rivers, tributaries of the Paute river was evaluated. Due to the need to incorporate new approaches in the water quality monitoring, this study applied the widely known water quality index (WQI) but, instead of using the 9 parameters originally required by the method, we used 18 physicochemical and microbiological parameters. For each river, nine monitoring campaigns were carried out, covering representative hydrological periods and measuring flow discharges. The results show that, in general, in the areas of river catchment, the water resource is suitable for almost all types of use, but gradually, as it progresses downstream, the quality decreases due to sanitary or industrial wastewater and to natural factors such as runoff or erosion sediments. The most critical condition of the evaluated river's water quality was presented during drought conditions, mainly due to the decrease in dissolved oxygen and the increase in temperature, salinity, organic matter and coliform bacteria. On the other hand, during rainy periods, parameters indicating a decrease of water quality were color, turbidity, and nutrient content such as phosphorus and nitrogen. In general, rivers have better quality for medium flow conditions, which prevail during most of the year. The present results were analyzed in accordance with the quality objectives established in previous studies, allowing a qualitative evaluation of the wastewater interception and treatment system of the city of Cuenca, Ecuador.

Keywords: Index of water quality, pollution, water uses, WQI, Paute.

1. INTRODUCCIÓN

Los cuatro ríos que discurren por la ciudad de Cuenca (Tarqui, Yanuncay, Machángara y Tomebamba), capital

de la provincia del Azuay, constituyen una arteria vital y de desarrollo de esta población. Además, estos ríos son afluentes importantes del río Paute, en cuya cuenca de captación inferior opera el proyecto hidroeléctrico Paute, de ámbito de influencia nacional. En este sentido,



información actualizada y periódica sobre la calidad de las aguas de los mencionados recursos hídricos, constituye una herramienta fundamental para la toma de decisiones en términos del buen uso y conservación de estos recursos.

Aun cuando la ciudad de Cuenca dispone de un sistema de depuración en base a lagunas de estabilización, operativo desde el año 1998, una de las principales formas de contaminación de las aguas de los ríos que atraviesan esta ciudad, ocurre por la disposición final, por dilución, de los sistemas de alcantarillado de varios de sus numerosos asentamientos menores como cabeceras parroquiales, caseríos y una amplia población dispersa, además de vertidos ilegales, que no se encuentran conectados al sistema de colectores marginales del sistema de depuración de aguas. Este tipo de contaminación, por aguas residuales domésticas y/o industriales, limitan los usos del recurso tanto para fines agrícolas, así como para abastecimiento de agua.

Los suministros de agua generalmente provienen de dos fuentes principales: aguas superficiales y subterráneas, procedencias totalmente interrelacionadas; como el agua se mueve a través del sistema de vías superficiales y subterráneas su calidad se altera frecuentemente en forma significativa, así el agua que sale de la zona de captación será diferente del agua que ha caído en ella como precipitación; por lo que el aporte continuo de contaminación a los ríos de la ciudad, no afecta solamente la calidad de los cuerpos receptores, sino también de los suministros subterráneos.

El agua destinada a consumo humano debe cumplir requisitos de calidad, los mismos que cada vez son más difíciles de alcanzar, debido a la presencia de sustancias de muy diverso origen en las corrientes receptoras, lo que exige la implementación de tratamientos costosos y difíciles de aplicar sobre todo en comunidades con bajo nivel técnico y escasos recursos económicos; así, la selección cuidadosa de la fuente de abastecimiento, como la protección de los ríos, son temas relevantes, mientras más limpia sea el agua de la fuente o agua cruda, más barata será el agua tratada y más sana para beber.

La calidad del agua tal como la encontramos en la naturaleza depende fundamentalmente de las características de la cuenca hidrográfica, especialmente de los suelos y de la geología, pero la actividad antropológica es la más influyente en la polución de los ríos; la intensa actividad agrícola, ganadera y la urbanización presentes a lo largo de las subcuencas de los ríos estudiados, constituyen la principal fuente de contaminación, por lo que disponer de agua para bebida con requisitos de calidad es muy difícil para algunos sectores de la población que utilizan estas fuentes de abastecimiento.

Los ríos tienen características propias de calidad, y ésta es variable con el tiempo (Rauch *et al.*, 1998). La calidad en un río, se refiere a la naturaleza y concentración de las sustancias que pueden estar presentes en un momento determinado; algunas son de origen natural, pero otras son introducidas por el hombre al utilizar el cuerpo receptor como el lugar idóneo para arrojar residuos (Carretero & Pozo-Rodríguez, 2007); los contaminantes en general pueden ser conservativos y no conservativos (Tebbutt, 1998a); es útil la siguiente clasificación: i) compuestos tóxicos, que causan inhibición y destrucción de la actividad biológica, tales como: metales pesados, hidrocarburos aromáticos policíclicos, plaguicidas, etc.; algunos de éstos hoy reciben el nombre de compuestos

refractarios, porque resisten los procesos convencionales de tratamiento (Metcalf & Eddy, Inc., 2003); ii) materiales que afectan el balance de oxígeno en el agua, como: materia orgánica, agentes químicos reductores, grasas, aceites y detergentes, etc.; iii) sólidos inertes en suspensión o disueltos, que a elevadas concentraciones limitan los usos del agua. Sin embargo, el río como todo cuerpo acuático posee una capacidad de autodepuración a través de varios mecanismos como: el transporte y depósito (sedimentación) de materiales contaminantes, posiblemente alentada por la floculación bacteriana; reacciones químicas y bioquímicas que se realizan en la masa del agua y en la superficie de la materia suspendida (pH, sorción, ácido-base, redox, complejación, catabolismo, asimilación-desasimilación, etc.); intercambio de compuestos volátiles entre la masa de agua y la atmósfera (pérdida o entrada de oxígeno, anhídrido carbónico, nitrógeno, etc.); reacciones redox en los sedimentos, y finalmente la descomposición bacteriana debida a un ambiente generalmente inhóspito para bacterias entéricas y patógenas (Catalán-La Fuente & Catalán-Alonso, 1992). Todos estos mecanismos confieren al río la facultad de incorporar en sus circuitos biológicos estos materiales y energía extraños, recuperando su funcionalidad.

En el agua existen dos tipos de interacciones soluto-disolvente: la inducida por aquellos solutos que “refuerzan” la estructura del agua, y la producida por solutos que la “rompen” o la distorsionan drásticamente. Los primeros suelen ser compuestos no iónicos como los hidrocarburos y en general, moléculas no polares, las cuales se sitúan en el límite del enlace del hidrógeno, reforzando los puentes de hidrógeno entre las moléculas de agua; los otros son sustancias de carácter polar, provocan en el líquido reacciones complejas, por interacciones eléctricas que modifican la estructura tridimensional “normal” del agua (Marín-Galvín, 2019).

La presencia o ausencia de todas estas sustancias y en un momento dado, definen la calidad del agua; la información que proporcionan los análisis para referirse a la calidad, normalmente se evalúa empleando un índice (WQI o ICA) el cual, basado en un determinado modelo de cálculo, permite resumir una gran cantidad de información en un sólo número que, comparado luego con una escala preestablecida, define la calidad del recurso y por la tanto los usos del mismo (Torres, Cruz, Patiño, Escobar, & Pérez, 2010).

La conformación de un ICA asocia parámetros de interés dependiendo del objetivo de la evaluación y de la zona de estudio; estos índices constituyen herramientas de mucha utilidad para los técnicos, los expertos, las autoridades y/o organismos encargados del manejo y control del recurso. Literatura especializada que informa sobre los índices de calidad más usados a nivel mundial, las bases para su conceptualización y su evolución en el tiempo son el Oregon Water Quality Index (Cude, 2001) o el propuesto por el Departamento de Calidad Ambiental de Idaho (DEQ State Office, s. f.).

La mayoría de autores recomiendan incluir en el índice, parámetros de las cinco categorías consideradas como las más importantes: i) nivel de oxígeno, por su importancia en la capacidad de autodepuración de las corrientes; ii) eutrofización, por constituir un problema del ecosistema con efectos en los usos del agua; iii) aspectos de salud, por el riesgo sanitario; iv) características físicas, de importancia en la estética del agua; y v) sustancias

disueltas, relacionadas con la presencia de iones (Sierra-Ramírez, 2011).

Los ríos objeto de estudio en este trabajo, ya han sido evaluados por la Empresa Pública de Telecomunicaciones, Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de Cuenca (ETAPA EP), a través del índice WQI desarrollado por la Fundación Nacional de Saneamiento (NSF por sus siglas en inglés) de los Estados Unidos de América, basado en nueve parámetros (Dinius, 1987): oxígeno disuelto, turbiedad, sólidos totales, coliformes fecales, variación de temperatura, pH, nitratos, fosfatos, y DBO5, y define cinco rangos de calidad; la presente investigación por su parte evalúa la calidad del agua con un índice que si bien está basado en el WQI original, considera 18 parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, la metodología utilizada permite detectar el tiempo en el que ocurrió la contaminación e incluye parámetros relacionados con la hidrogeoquímica del agua, aspectos importantes en la calidad del recurso y no considerados en el índice WQI originalmente propuesto por la NSF. Variaciones del método propuesto por la NSF han sido utilizadas ya en estudios previos como el de (León-Vizcaíno, 1992) o en documentos técnicos de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales de México (SEMARNAT, s. f.).

Finalmente, se debe considerar que un río es un reactor permanentemente mezclado y los aspectos que controlan la calidad del agua y explican su dinámica son: el paisaje de la cuenca, los factores constitutivos de un río, y el agua misma (Catalán-La Fuente & Catalán-Alonso, 1992). Una evaluación integral requiere atención a todos estos

factores. Conservar la calidad del agua de los ríos es de vital importancia pues de su calidad depende su uso; pero el aspecto que hoy prima es el efecto nocivo sobre la salud humana y el medio ambiente, debido a sustancias tóxicas que el río puede arrastrar (e.g., Jones, 2013).

El objetivo del presente trabajo fue determinar, mediante el índice de calidad ICA, el estado de los ríos: Tarquí, Yanuncay, Machángara y Tomebamba, y evaluar la variación de la calidad del agua frente a las diversas posibilidades de contaminación causada por la descarga de agua residual sanitaria y/o industrial. Además, se definirán los usos que pueden asignarse al recurso en las actuales condiciones y especificar metas de calidad para objetivos específicos.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Descripción de la zona de estudio

El área de estudio corresponde a cuatro subcuencas del río Paute, ubicadas en el sur del Ecuador, Provincia del Azuay; dentro de las mismas se encuentra el cantón Cuenca cuya población al año 2010 fue de 505,585 habitantes (INEC, 2010) y para el año 2019 según proyecciones del INEC existirían 625,775 habitantes. Las subcuencas de los ríos Yanuncay (419 km²), Tomebamba (380 km²) y Machángara (325 km²) nacen en el Parque Nacional Cajas, mientras que el río Tarquí (476 km²) nace en los páramos de Cumbe y de la parte alta de la Victoria del Portete (Fig. 1).

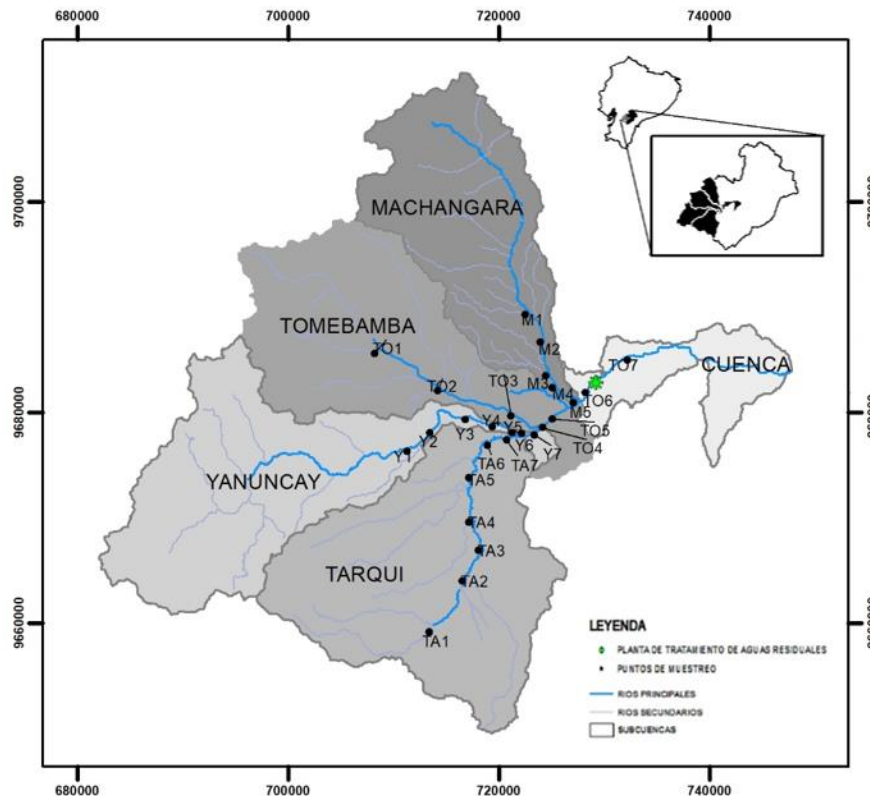


Figura 1. Área de estudio y estaciones de monitoreo en las subcuencas evaluadas. Los acrónimos se definen en la Tabla 1.

Todos los ríos atraviesan la ciudad de Cuenca en sentido Este-Oeste; esta ciudad cuenta con una amplia red de interceptores marginales en los cuatro ríos; sin embargo, la cobertura en servicios de alcantarillado no es del 100%, existiendo a la fecha de monitoreo, varias descargas que no han sido interceptadas.

2.2. Metodología del monitoreo

Se diseñó un programa de monitoreo de nueve campañas para cada río, con estaciones estratégicamente ubicadas desde la zona alta hasta el final de su recorrido como se muestran en la Figura 1. Los sitios de monitoreo fueron establecidos procurando la disponibilidad de una estructura transversal al río que permita la medición del caudal y la influencia de los afluentes importantes a cada río, como cuerpos de agua natural o la descarga de la PTAR. La Tabla 1 indica las denominaciones de cada sitio de muestreo en los diferentes ríos.

Tabla 1. Referencia de los sitios de monitoreo en los cuatro ríos de estudio.

Subcuenca	Código	Referencia
Tarqui	TA1	Portete
	TA2	DJ Cumbe
	TA3	Tarqui
	TA4	Zona Franca
	TA5	DJ Zhucay
	TA6	Parque Inclusivo
	TA7	AJ Yanuncay
Yanuncay	Y1	Dispensario Barabón
	Y2	Inmaculada de Barabón
	Y3	San Joaquín
	Y4	Avenida Loja
	Y5	Tres Puentes
	Y6	UDA
	Y7	Parque el Paraíso
Tomebamba	TO1	Llaviuco
	TO2	Sayausí
	TO3	Puente del Vado
	TO4	Empresa Eléctrica
	TO5	AJ Quebrada Milchichig
	TO6	AD PTAR de Cuenca
	TO7	Challuabamba
Machángara	M1	Chiquintad
	M2	Ochoa León
	M3	Feria de Ganado
	M4	Parque Industrial
	M5	AJ Tomebamba

AJ = Antes de la Junta; DJ = Después de la Junta; AD = Antes de la descarga; UDA = Universidad del Azuay; PTAR = Planta de Tratamiento de Agua Residual, sistema de lagunaje.

Las estaciones TO6 y TO7, están ubicadas en el río Cuenca, arteria hidrográfica que se conforma a partir de la unión del río Tomebamba con el Machángara. Cada río fue evaluado durante un año a partir del 2012 y concluyó en el 2015, considerando períodos hidrológicos representativos. En cada estación se midió el caudal y se consideró los tiempos de paso entre las estaciones. Las mediciones de caudal se realizaron en base a las

recomendaciones de (Te-Chow, Madiment, & Mays, 1994); se fraccionó la sección del río en intervalos regulares (aprox. 3m), dentro de cada intervalo se midió la profundidad y con un correntómetro o molinete se determinó la velocidad en cada tramo. Considerando la ecuación de la continuidad se calculó el caudal parcial por cada sección, multiplicando el área de esta por la velocidad medida y el caudal total se calcula con la suma de los caudales parciales. Para profundidades del río inferiores a los 70 cm se realizó una sola medición, al 60% de profundidad, y cuando superaba los 70 cm se realizaron dos mediciones, al 20% y al 80% de profundidad, y se determinó un promedio de dichas velocidades para esa sección.

Las muestras recolectadas para los análisis fueron compuestas a volúmenes fijos, y se capturaron en tres zonas de la sección del río (margen izquierda, derecha y centro); se conservaron a 4°C durante su traslado, y parámetros como el oxígeno disuelto y la temperatura fueron medidos in situ.

2.3. Determinación del Índice de Calidad de Agua (ICA)

El modelo utilizado para la evaluación del índice ICA maneja 18 parámetros (Tabla 2; SEMARNAT, s. f.) indicativos de aspectos importantes del agua como: la estética, presencia de nutrientes, materia orgánica, disponibilidad de oxígeno y contaminación bacteriana. El cálculo del ICA se realiza aplicando un método aditivo, mediante la Ecuación 1. En la fórmula, cada parámetro tiene un peso relativo de acuerdo con su importancia, como se indica en la Tabla 2.

$$ICA = \frac{\sum_{i=1}^n I_i W_i}{\sum_{i=1}^n W_i} \quad (1)$$

en donde: ICA=índice de calidad del agua global; I_i = índice de calidad i -ésimo parámetro; W_i =coeficiente de ponderación del i -ésimo parámetro; n =número total de parámetros.

Las ecuaciones definidas para el índice de calidad individual de cada uno de los 18 parámetros son funciones de transformación, mediante las cuales las unidades heterogéneas de expresión de cada parámetro son convertidas en unidades homogéneas de calidad de agua (Chang-Gómez, 2009). Los métodos usados para la determinación de los parámetros referidos son los establecidos por el Standard Methods para la evaluación del agua y aguas residuales (American Public Health Association, 2005). El modelo de cálculo del ICA permite, en ausencia de un dato, considerar un coeficiente de ponderación nulo para el parámetro al que corresponda en la evaluación del ICA.

El resultado del cálculo realizado con las consideraciones citadas anteriormente corresponde a un valor entre 0 y 100. La clasificación se realiza en 5 grupos con un criterio de calidad correspondiente. En la Tabla 3 se muestra el criterio para la clasificación de la calidad del agua. Los usos descritos en dicha Tabla son compatibles con los establecidos en la normativa ecuatoriana, según el Texto Unificado de la Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (Ministerio del Ambiente, 2015); por lo tanto, los criterios de calidad obtenidos con el índice ICA son

aplicables a los usos establecidos en la normativa ecuatoriana mencionada.

2.4. Clasificación de los monitoreos de acuerdo con el caudal

Con el objetivo de especificar el régimen de caudal de toda una campaña de monitoreo, se realizó un análisis por estación determinando los quintiles para cada grupo de datos. Al quintil 1 (<20%) se lo cataloga como un caudal bajo, al quintil 5 (>80%) se cataloga como un caudal alto, mientras que para los quintiles 2, 3 y 4 (20%<Q<80%), como caudal medio.

Tabla 2. Lista de parámetros y coeficiente de ponderación para el cálculo del ICA, según SEMARNAT (s. f.).

Parámetro	Coeficiente de ponderación
pH	1.0
Color	1.0
Turbiedad	0.5
Grasas y Aceites	2.0
Sólidos Suspendidos	1.0
Sólidos Disueltos	0.5
Conductividad Eléctrica	2.0
Alcalinidad	1.0
Dureza Total	1.0
Nitrógeno de Nitratos	2.0
Nitrógeno Amoniacal	2.0
Fosfatos Totales	2.0
Cloruros	0.5
Oxígeno Disuelto	5.0
DBO (5 días)	5.0
Coliformes Totales	3.0
Coliformes Fecales	4.0
Sustancias activas al azul de metileno	3.0

3. RESULTADOS

3.1. Análisis de caudales y variación temporal de la calidad del agua

La Figura 2 muestra la representatividad del período de muestreo; de los nueve monitoreos realizados en cada río, cinco son catalogados como de caudal medio (M), dos de caudal alto (A) y dos de caudal bajo (B), variación similar a la que presenta el caudal de los ríos durante el año, con máximos y mínimos, predominando el caudal medio.

En cada estación, y en todos los ríos, la calidad está relacionada con el período estacional (Fig. 3). En el río Tarqui la estación con menor variabilidad de la calidad fue *Zona Franca TA4* con una desviación standard σ en sus ICAs de 2.76; mientras que la de mayor variabilidad fue *Parque Inclusivo TA6* ($\sigma=5.18$), debido a la intensa actividad recreativa y poco contralada de la zona, sobre todo durante los fines de semana. Para el Yanuncay, la estación de menor variabilidad fue *Parque El Paraíso Y7* ($\sigma=3.27$); esta estación es antes de la junta con el río Tomebamba; en cambio, la estación de mayor variabilidad fue *Tres Puentes Y5* ($\sigma=6.74$), debido a descargas puntuales e intermitentes de agua residual doméstica no interceptada procedente de la urbanización. En el río

Machángara la estación de menor variabilidad es *Parque Industrial M4* ($\sigma=2.13$) y la de mayor variabilidad fue *Feria de Ganado M3* ($\sigma=3.78$), debido a la influencia de esta actividad intermitente de feria que se realiza los jueves; sin embargo, la variación de la calidad en todas las estaciones es muy pequeña, lo que indica que no hay influencia significativa del período climatológico, debido a la regulación del caudal efectuada aguas arriba para el aprovechamiento energético. En el río Tomebamba, la estación de menor variabilidad fue *Sayausí TO2* ($\sigma=2.2$) y la de mayor variabilidad fue *Puente del Vado TO3* ($\sigma=4.42$).

Las estaciones que presentan mayor variabilidad en su calidad deben prestar mayor atención en cuanto a los usos que pueden asignarse al recurso, los cuales dependerán del período climatológico. La calidad en todas las estaciones disminuye durante condiciones de estiaje y, en menor grado, en periodos lluviosos (invierno); esto significa que si, por ejemplo, el uso fuere para abastecimiento de agua potable, habrá mayor variación en las dosis de coagulantes, de ayudantes de floculación, de desinfectantes, etc., es decir, la potabilización se hace más difícil. Otro uso que puede verse afectado es el riego, debido a la probable presencia de huevos de parásitos; un aspecto importante a tener en consideración es la posibilidad de la presencia de sustancias tóxicas que en condiciones de bajo caudal pueden sobrepasar la capacidad de autodepuración de la corriente.

3.2. Variación espacial de la calidad del agua

Durante su recorrido la corriente incrementa el caudal por el aporte de afluentes que se incorporan al curso mayor, los cuales agregan contaminación por descargas de aguas residuales domésticas no tratadas y no interceptadas, y por acciones naturales como la escorrentía pluvial urbana y no urbana que arrastra nutrientes de fósforo y nitrógeno, por lo que la calidad disminuye progresivamente en todos los ríos y en todas las condiciones climatológicas (Fig. 3).

En el río Tarqui la calidad en todo su recorrido desciende hasta 20 unidades en promedio; pero los tramos de mayor descenso ocurren entre las dos primeras y entre las dos últimas estaciones; es decir la contaminación aportada por la población de la Parroquia Cumbe, y la debida a la urbanización del Cantón Cuenca en el último tramo, son significativas, tanto que en la última estación (*AJ Yanuncay TA7*) la calidad desciende a la categoría de "contaminado" en tres monitoreos. El río recupera la calidad en cinco unidades en promedio en *DJ Zhucay T5*, lo que significa que el río Zhucay alivia la contaminación del Tarqui. Los resultados indican que la calidad en el río Tarqui es superior en los monitoreos de caudal medio, y el mayor descenso se presenta en estiaje.

Para el río Yanuncay la calidad a lo largo de su recorrido, desciende en promedio 16 unidades, pero el tramo de mayor deterioro, con seis puntos de diferencia, ocurre entre *Los Tres Puentes Y5* y la estación *UDA Y6*, por la intensa urbanización y descargas de aguas residuales industriales a pequeña escala y clandestinas. Entre las estaciones *San Joaquín Y3* y *Avda. Loja Y4*, hay un descenso de caudal en tres de los nueve monitoreos realizados; en este tramo probablemente hay extracción de agua, lo cual incide en el valor del ICA sobre todo en estiaje, como se observa en el monitoreo nueve, en donde hay un descenso de calidad de 17 puntos. La calidad del

río es superior en caudal medio y el mayor deterioro se registra en caudal bajo.

En el río Machángara la calidad disminuye en 16 puntos en promedio durante su recorrido. Es el cuerpo superficial más protegido en su zona alta, con un ICA promedio en *Chiquintad M1* de 73.9 el más alto de todos los ríos. Calidad superior se presenta en caudal medio, y desmejora levemente en caudales altos o bajos.

En el río Tomebamba, entre la estación *Sayausí TO2* y *Puente del Vado TO3*, la calidad disminuye hasta en 13 puntos en algunos monitoreos; presumiblemente debido a la actividad agrícola y la intensa urbanización en el tramo considerado; después, la calidad continúa disminuyendo,

pero con menor variación entre estaciones, hasta alcanzar condiciones de contaminado en la última estación (*Río Cuenca*) en casi todos los monitoreos; la calidad, en promedio, disminuye cerca de 24 puntos. En las dos últimas estaciones (antes de la *PTAR TO6*, y en *Challuabamba TO7*), ya en el río Cuenca, la calidad ya no depende del período estacional, siempre está contaminado, presentando ICAs por debajo de 50, ocurriendo la condición más crítica en estiaje, cuando el bajo caudal del río ya no puede depurar la carga contaminante y constante de agua residual no tratada ni interceptada de la urbanización existente en Challuabamba, obteniendo ICAs hasta de 41.9.

Tabla 3. Criterio general de la calidad según el valor del índice de calidad de agua (ICA); (SEMARNAT, s. f.).

ICA	Criterio General	Abastecimiento Público	Recreación	Pesca y Vida Acuática	Industrial y Agrícola
100	No contaminado	No requiere purificación	Aceptable para cualquier deporte acuático	Aceptable para todos los organismos	No requiere purificación
90		Ligera purificación			Ligera purificación para algunos procesos
80	Aceptable	Mayor necesidad de tratamiento	Aceptable no recomendado	Aceptable excepto especies muy sensibles	Sin tratamiento para industria normal
70				Dudoso para especies sensibles	
60				Dudoso para especies sensibles	
50	Contaminado	Dudoso	Dudoso para contacto directo	Solo organismos muy resistentes	Tratamiento en la mayor parte de la industria
40			Sin contacto con el agua		
30	Altamente contaminado	No Aceptable	Señal de contaminación	No aceptable	Uso muy restringido
20			No aceptable		
10			No aceptable		

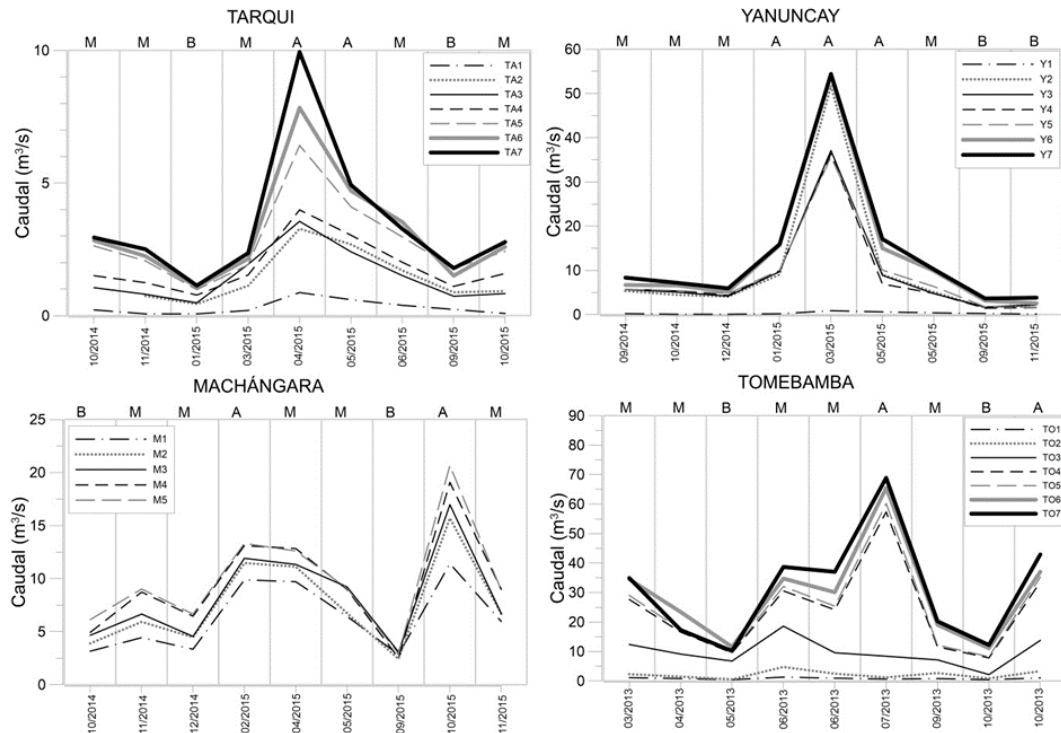


Figura 2. Evolución del caudal durante el periodo de monitoreo en los ríos evaluados (A, M y B = monitoreo en caudal alto, medio y bajo, respectivamente).

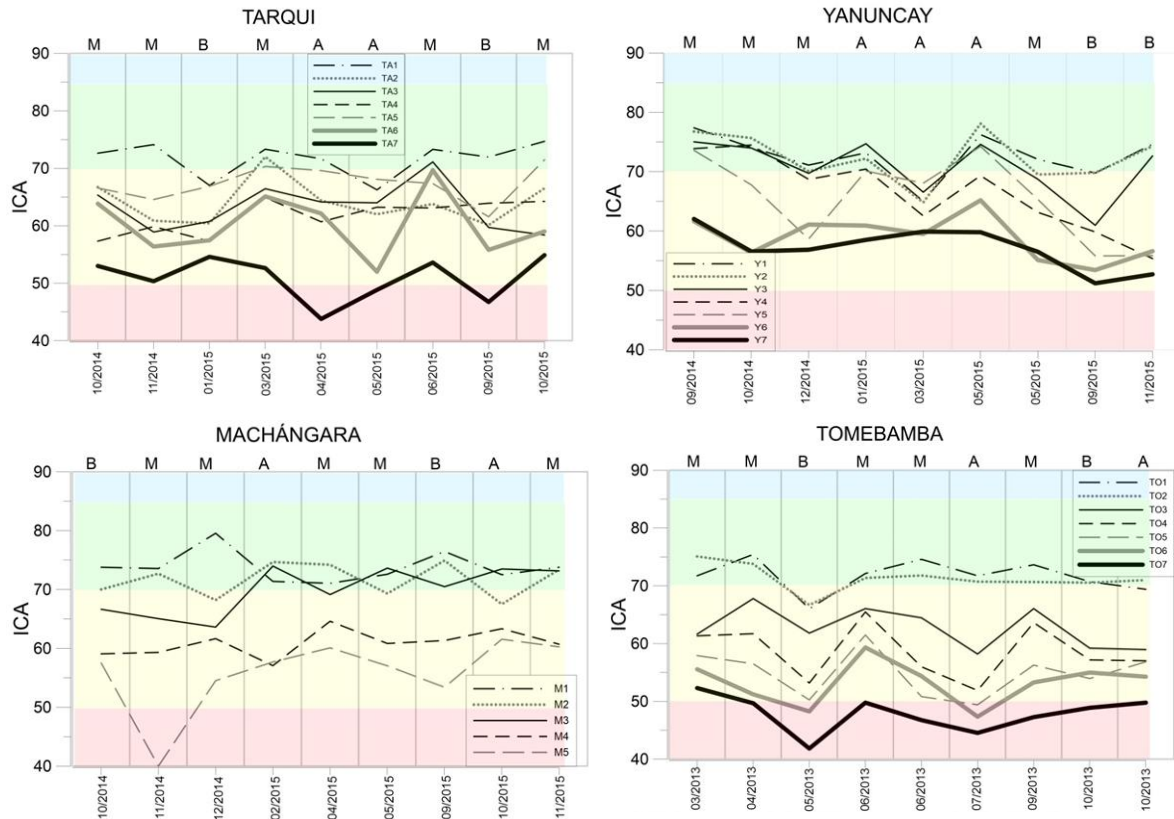


Figura 3. Valores del índice de calidad de agua en los cuatro ríos monitoreados durante el periodo evaluado (A, M y B = monitoreo en caudal alto, medio y bajo, respectivamente; zonas de color azul, verde, amarillo y rojo claros corresponden, respectivamente, a no contaminado, aceptable, poco contaminado y contaminado).

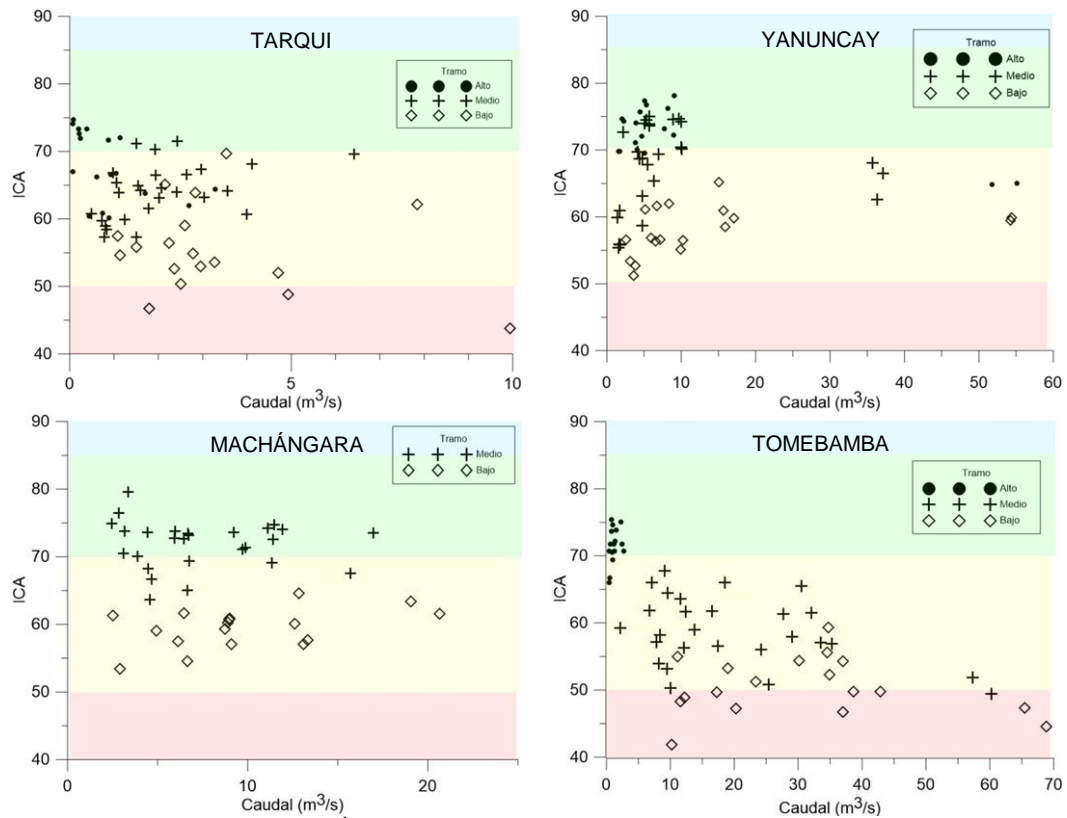


Figura 4. Influencia del caudal sobre el Índice de Calidad del Agua para los ríos evaluados. (El tipo de símbolo utilizado corresponde a la condición de caudal durante el monitoreo: alto, medio o bajo; las zonas de color azul, verde, amarillo y rojo claros corresponden, respectivamente, a no contaminado, aceptable, poco contaminado y contaminado).

3.3. Influencia del caudal sobre el ICA

Para analizar la influencia del caudal sobre el ICA se ha particionado cada río de la siguiente manera: (i) tramo alto: corresponde a zonas no urbanizadas, con escasa población circundante y actividades agropecuarias escasas, (ii) tramo medio: corresponde a un área previa al ingreso al casco urbano de la ciudad de Cuenca, (iii) tramo bajo: corresponde a puntos ubicados dentro del casco urbano de la ciudad o después de él. Los resultados de este análisis se presentan para cada río en la Figura 4.

El río Tarqui puede catalogarse como “*poco contaminado*” en todos sus tramos y en ocasiones en caudales bajos el tramo alto presenta condiciones *aceptables* de calidad. Sin embargo, no se evidencia una incidencia significativa del caudal sobre la calidad de este río. Se observa también que el ICA en la Tramo Alto y Medio varía dentro de un rango entre 55 y 75 durante todo el periodo de estudio, no así en la parte baja se evidencian valores muy dispersos en un rango desde 42 hasta 70. En el río Yanuncay, en el tramo alto, se observa que en caudales por debajo de los $10 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ se mantiene una calidad aceptable, obteniendo valores de ICA cercanos a 80. Sin embargo, en un monitoreo con un caudal 5 veces mayor al medio, su calidad disminuye apenas en 5 puntos aproximadamente, debido a la erosión y la contaminación difusa. Los tramos medios y bajos se mantienen siempre en un estado *Poco Contaminado*. Es evidente en el tramo medio y bajo, que a medida que incrementa el caudal, el efecto de dilución se hace significativo y su calidad tiende a mejorar. Para el río Machángara se optó por dividirlo únicamente en tramo medio y bajo ya que desde la primera estación existen varias poblaciones establecidas. No fue posible acceder a los tramos altos por movilización y la restricción de ingreso a estas zonas ya que es una cuenca protegida. Sin embargo, es evidente que el caudal no incide en el tramo medio puesto que, con respecto a la mejor condición, para la que se obtuvo un ICA de aproximadamente 80 a un caudal de $3 \text{ m}^3/\text{s}$, si se quintuplica este caudal el ICA apenas disminuye en 6 unidades manteniéndose como *Aceptable*. Con respecto al tramo bajo, la calidad se mantiene estable con excepción de un monitoreo en donde se registró toxicidad en el río, que puede ser debido a descarga de tipo industrial o a un mal funcionamiento puntual de los interceptores marginales. Por otra parte, en el río Tomebamba se distinguen claramente tres grupos de ICA. En el tramo alto la calidad es *Aceptable* para rangos menores de caudal de $5 \text{ m}^3/\text{s}$. En el tramo medio la calidad se mantiene como *poco contaminado* en un rango de caudales hasta los $60 \text{ m}^3/\text{s}$. El tramo bajo el río Tomebamba recibe los tres afluentes, Tarqui, Yanuncay y Machángara. De manera adicional, el último punto de monitoreo se encuentra en una zona que todavía no dispone de interceptores marginales y sus aguas residuales son descargadas sin tratamiento. Se puede evidenciar en este último tramo que la calidad es baja en caudales bajos o altos, y mejora ligeramente en caudales medios. En conclusión, en todos los ríos la calidad disminuye a medida que aumenta el caudal; pero el descenso es mayor en caudales bajos, por lo que la calidad es crítica en estiaje.

3.4. Usos del agua en los ríos de estudio

Los valores de ICA obtenidos permiten definir los usos del agua en cada río y en cada estación (Tabla 3), siendo importante identificar aquellos que pueden asignarse en

períodos de estiaje, ya que constituye la condición más crítica para la calidad.

Los ríos de mayor atención en cuanto a la contaminación y por tanto a los usos, son el Tarqui y el Tomebamba en sus zonas bajas; así, para el abastecimiento público ya es *dudoso*, en ambos ríos; el uso recreativo toma condiciones de *aceptable no recomendable* en todo el río Tarqui, y en el Tomebamba ya alcanza la condición de *dudoso para contacto directo*; para mantenimiento de pesca y vida acuática es decir para conservar las características del ecosistema, en el río Tarqui ninguna estación es *aceptable para todos los organismos*; y el Tomebamba en cambio ya alcanza condiciones de *sólo organismos muy resistentes*; finalmente para el uso industrial y agrícola, el río Tarqui está catalogado *sin tratamiento para la industria normal* en todas las estaciones, y el Tomebamba ya adquiere la condición de *tratamiento en la mayor parte de la industria*.

4. DISCUSIÓN

4.1. Características estéticas

En términos generales, durante el período de monitoreo, en el río Tarqui predomina el color, con altos valores de turbiedad; en el río Yanuncay predomina el color acompañado de baja turbiedad; en el río Machángara la turbiedad y el color son relativamente bajos, mientras que en el Tomebamba predomina la turbiedad. Estas variaciones afectan los usos posteriores del agua; así, la potabilización se dificulta en período invernal, mientras que en estiaje se puede incrementar la concentración de sustancias tóxicas no identificadas porque la corriente pierde capacidad de autodepuración.

En el río Machángara la regulación del caudal tiene un efecto positivo en la calidad pues presenta menos variaciones que las observadas en los otros ríos; no hay color ni turbidez significativa en invierno, y en verano tampoco hay concentración de solución. Los sólidos suspendidos, que tienen una relación directa con la turbiedad, presentan los niveles más altos en los ríos Tarqui, Yanuncay y Tomebamba y en condiciones de lluvia; pero es necesario considerar el aporte de sólidos por escorrentía pluvial urbana y por erosión en las subcuencas altas, por lo que es necesaria la protección de los suelos para evitar su deterioro, y en estudios posteriores establecer la diferenciación entre las dos fuentes de generación de sólidos.

Durante los días anteriores a un evento de lluvia se produce un proceso de acumulación de carga contaminante en superficie; esta acumulación se debe a diferentes fuentes de contaminación, entre las cuales cabe destacar: residuos vegetales y restos de animales domésticos; compuestos y sustancias en suspensión que han precipitado, residuos tóxicos procedentes de emisiones de vehículos, etc. Durante un evento de lluvia extremo, el agua arrastra todos estos elementos transportando la carga contaminante hacia la red y evacuándola hacia el medio receptor (Temprano-González, Gabriel-Cervigni, Suárez-López, & Tejero-Monzón, 1996).

Tabla 4. Valores máximos (y mínimos entre paréntesis) de características físicas, químicas y biológicas de los ríos estudiados.

Parámetro		Río			
		Tarqui	Yanuncay	Machángara	Tomebamba
Color	UC (Pt-Co)	152 (23)	244 (7)	61 (2)	59 (12)
Turbiedad	NTU (FTU)	70.4 (3.8)	163 (0.8)	54.7 (2.26)	104 (0.91)
Sólidos Susp.	mg L ⁻¹	177 (1)	631 (1)	134 (2)	186 (40)
Oxígeno Disuelto	mg L ⁻¹	8.46 (4.6)	8.7 (5.35)	8.9 (6.25)	8.53 (4.41)
DBO5	mg L ⁻¹	11.6 (.02)	14.02 (.07)	10.08 (.15)	10.12 (.01)
Conductividad	uS cm ⁻¹	336 (37.3)	213 (25.2)	150.3 (67.2)	240 (87.3)
Cloruros	mg L ⁻¹	71 (4.1)	27.5 (4.1)	9.1 (3)	19 (2)
E. Coli	NMP/100 ml	7.00E+07 (2.00E+03)	1.70E+07 (45)	2.00E+06 (33)	1.10E+07 (13)

4.2. Nutrientes

Nitrógeno amoniacal

En el río Tarqui la concentración aumentó en estiaje (1.67 mg L⁻¹), mientras que en periodo de lluvias se produjo arrastre. En el Yanuncay la mayor concentración también sucedió en estiaje (1.06 mg L⁻¹) pero no se nota arrastre en invierno; el Machángara presentó niveles bajos en la parte alta, y en estiaje no aumentó la concentración, debido a que su caudal está regulado; el valor máximo se observó en la última estación (0.99 mg L⁻¹). En el río Tomebamba, en la zona alta se presentaron los valores más bajos de entre todos los ríos (0.01 mg L⁻¹), pero en la parte baja (Challuabamba) se observaron los más altos, aumentaron en lluvia y en estiaje (3.1 mg L⁻¹).

La concentración de nitrógeno amoniacal es importante por su relación con el pH; un incremento de 7.4 a 8.0 reduce a la mitad el nivel de la concentración tóxica de este compuesto (NH₃); el amoníaco ionizado (NH₄⁺) que predomina a bajos niveles de pH es menos tóxico que las formas no ionizadas (NH₃); algunas estaciones alcanzan un pH igual o mayor a 8 (Tebbutt, 1998b).

Nitrógeno de Nitratos

Cuando la materia orgánica se descompone en condiciones aerobias, la primera forma de nitrógeno en aparecer es el amoníaco, procedente de las proteínas, urea y aminoácidos, el cual paulatinamente se va oxidando hasta su forma final que son los nitratos; pero esta nitrificación requiere tiempo porque es una reacción cinética. Durante el periodo de lluvias, los ríos Tarqui, Machángara y Tomebamba presentaron una concentración máxima de 2.14, 2.52 y 0.52 mg L⁻¹, respectivamente; solo el Yanuncay presentó una concentración máxima de 2.69 mg L⁻¹ durante el periodo de estiaje. Los resultados de las formas de nitrógeno muestran que en el río Tomebamba la concentración de amoníaco es mucho mayor que en los otros ríos, y la de nitratos, en cambio, es la más baja; lo que indica que la contaminación en este río es reciente, es decir hay un aporte permanente de materia orgánica por aguas residuales domésticas, a la cual le hace falta tiempo para descomponerse, representando condiciones críticas de contaminación, que no se observaron en los otros ríos.

Fósforo total

En el río Tarqui la concentración máxima fue de 3.16 mg L⁻¹ en invierno, y mínima de 0.46 mg L⁻¹ en estiaje; esto

significa que en periodos de lluvia hay arrastre de fósforo debido a la poca vegetación de soporte en la subcuenca, además, hay más actividad ganadera y agrícola que en los otros ríos; el 90% del fósforo es orgánico, lo que indica que procede de abonos, plaguicidas, detergentes sintéticos, etc. En el Yanuncay, la concentración máxima ocurrió durante el periodo de estiaje (0.461 mg L⁻¹) y no se incrementó en invierno; además, un 25% del fósforo fue de origen orgánico. En el Machángara, la concentración máxima fue de 0.358 mg L⁻¹ en invierno (periodo lluvioso), lo cual significa poco arrastre de nutrientes, además de actividades agrícolas y ganaderas a pequeña escala y controladas. En el Tomebamba, las concentraciones altas variaron entre 4 y 7 mg L⁻¹ en casi todos los monitoreos, independientemente del período climático, predomina el fósforo orgánico, lo que significa un uso intensivo de los abonos fosforados en esta subcuenca, descargas de detergentes sintéticos y principalmente de excretas humanas. En síntesis, el río Tarqui aporta mayor cantidad de nutrientes de nitrógeno y fósforo, por arrastre de sedimentos debido a la erosión superficial; datos coincidentes con los obtenidos en los Planes Maestros de Agua Potable y Alcantarillado de ETAPA EP del año 1987.

4.3. Oxígeno disuelto y Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO(5)

Los valores máximos y mínimos para los ríos evaluados se muestran en la Tabla 4. Los valores máximos de oxígeno fueron registrados en las primeras estaciones y sobre todo en época de lluvias, debido a un incremento en la velocidad y por tanto a la capacidad de reaeración. En todos los ríos los niveles de oxígeno fueron superiores a los de saturación, a la temperatura correspondiente, esto indica que se favorecen los procesos aerobios de descomposición, esto es típico en ríos de alta montaña; en estiaje, en cambio, el OD desciende hasta 4.6 mg L⁻¹, presentándose un déficit que representa un riesgo para especies biológicas sensibles, sin comprometer la vida acuática superior. Esta afección se observa sobre todo en las últimas estaciones del río Tomebamba (río Cuenca); en términos generales, el río Machángara presenta la menor variación de oxígeno mientras que el Tomebamba la más importante. La concentración de oxígeno disuelto tiene un especial efecto en la toxicidad de los metales pesados; si la concentración disminuye a la mitad del valor de saturación, los niveles de toxicidad de estos metales disminuyen al 70%, confirmando la condición crítica de la contaminación en estiaje (Tebbutt, 1998b).

En cuanto a la DBO₅, esta alcanza valores máximos, por encima de 10 mg L⁻¹, para todos los ríos evaluados y durante el período de estiaje; en cambio, en tiempo lluvioso, las concentraciones son menores, compatibles con el efecto de dilución y lavado de la biomasa.

4.4. Conductividad, cloruros y *Escherichia coli*

Los valores mínimos de conductividad y cloruros se registraron en las primeras estaciones, y los máximos al final del recorrido; la menor variación de estos dos parámetros ocurrió en el Machángara, y la más significativa en el Tarqui, aunque en este río es importante la conductividad de origen geológico. El parámetro que más incide en la calidad es el alto contenido de bacterias coliformes fecales en todos los ríos (Tabla 4)

La empresa ETAPA EP, en base a un estudio de la calidad de aguas en las zonas bajas de los cuatro ríos de la ciudad, en el año 2012, mediante el uso del índice tradicional WQI de 9 parámetros (desarrollado por la Fundación Nacional de Saneamiento) concluyó que los parámetros que más afectan al mantenimiento del ecosistema son la DBO₅ y el contenido de Oxígeno Disuelto. El aporte del presente trabajo es el estudio de la calidad con un modelo que incluye parámetros químicos que permiten identificar el origen de la contaminación (orgánico o inorgánico) a través de medidas como la conductividad, cloruros, alcalinidad, y dureza total; el presente índice, basado en 18 parámetros, también aporta información sobre el momento en que se produce la contaminación, a través de la evolución de las formas de nitrógeno; finalmente, la medición de los caudales es otro parámetro útil para una evaluación más integral de la calidad de agua (ETAPA, 2008).

En el presente estudio el río Tomebamba, en la zona baja (río Cuenca), registró índices de Coliformes semejantes a los reportados por ETAPA EP en el año 2012. Se espera que los actuales niveles de contaminación sean menores ya que, según información suministrada por ETAPA, en el año 2014 se construyó el interceptor en la margen derecha del río Cuenca, en una longitud de 4.2 km; y entre el 2014 y el 2015, el interceptor en la margen izquierda del mismo río, en una longitud de 8.9 km.

El modelo de calidad utilizado en el presente estudio es válido para un diagnóstico preliminar de los cuerpos receptores, especialmente cuando se trata de estimar la calidad en el estado preoperacional, o línea base, aspecto indispensable para evaluar el posible impacto ambiental que obras de diferente naturaleza puedan producir sobre la calidad del cuerpo receptor.

4.5. Metas de calidad propuestas

En los Estudios de Diagnóstico y Factibilidad de los “Planes Maestros de Agua Potable y Alcantarillado del Área Metropolitana de la ciudad de Cuenca” en 1987, se fijó una meta de calidad, a fin de que el agua de los ríos sea apta para algunos usos como: estético, recreativo por contacto primario y secundario, y para riego. La aptitud del agua para estos usos requiere, entre otros, un valor de bacterias coliformes fecales (*Escherichia coli*), hasta de 1000 NMP/100 ml, valor recomendado por la Agencia de Protección Ambiental de los EEUU (EPA). En este aspecto, la Normativa Ecuatoriana TULSMA considera los usos del agua, con sus correspondientes criterios para coliformes totales y fecales (Tabla 5). Por lo visto, el

criterio de meta tiene total relación con los exigidos por la Normativa Ecuatoriana, excepto para contacto primario, (200 NMP/100 ml).

Tabla 5. Criterios de calidad microbiológicos, según la normativa ecuatoriana.

Uso	Coliformes Totales NMP/100 ml	Coliformes Fecales NMP/100 ml
Fuentes de agua para consumo humano y doméstico	1000	No reporta valor
Preservación de vida acuática y silvestre	No reporta valor	No reporta valor
Uso agrícola	1000	No reporta valor
Agua para riego	No reporta valor	No reporta valor
Fines recreativos, por contacto primario	2000	200
Fines recreativos, por contacto secundario	4000	

Para alcanzar este nivel, es necesario disminuir la contaminación bacteriana en 2, 3 y hasta 4 ciclos logarítmicos en los ríos de Cuenca, pero sobre todo en el río Tomebamba en su parte baja (río Cuenca), el cual, desde la estación *Puente del Vado* requiere atención, en todas las condiciones climatológicas. Este nivel de reducción no es fácil de alcanzar si se considera el aporte de la contaminación difusa por fuentes no puntuales, que son difíciles o imposibles de controlar, como: descargas de escurrimiento directo superficial de las áreas urbanas, la carga de sedimentos por erosión del suelo en las subcuencas, la contaminación por escorrentía pluvial no urbana, la descarga y rebose de los colectores marginales hacia los cuerpos superficiales y sobre todo los derrames sin control de agua de lluvia en los alcantarillados combinados que se incluyen también en la categoría de contaminación no puntual.

Cuando se practica un control eficiente de las fuentes puntuales, por ejemplo, a través de los interceptores marginales, las fuentes no puntuales pueden tener una contribución significativa en la contaminación; siendo importante que, al preparar las políticas de control de la contaminación, se tenga en cuenta esta contribución ya que de otra manera se pueden sobreestimar las metas de la política para el control del medio ambiente (Tebbutt, 1998b).

Al tratar de resolver el problema de la contaminación de los ríos, no se pueden centrar todos los esfuerzos en la construcción de depuradoras y en el tratamiento de las aguas residuales pues aproximadamente un 50% de la contaminación vertida al medio receptor proviene de los vertidos en tiempo de lluvia. En muchas ocasiones, los logros conseguidos mediante la construcción de depuradoras y el tratamiento de las aguas en tiempo seco quedan anulados por este tipo de descargas (Temprano-González *et al.*, 1996).

4.6. Plan de vigilancia de la calidad de los ríos

Un monitoreo trimestral, incluyendo tiempos de paso y mediciones de caudal, permitirá un diagnóstico oportuno de la calidad, sobre todo en las zonas bajas y en estiaje, que representan las condiciones más desfavorables. Un plan de vigilancia de este tipo permitirá evaluar la eficiencia de los interceptores marginales. Según información proporcionada por ETAPA EP, en el período 2014-2018 se han construido en total 34.8 km de interceptores, y entre el 2018 y el 2019 se construyeron los interceptores de la Quebrada Alpayacu (0.4 km) y del río Machángara (5.6 km). Los nuevos interceptores se van sumando a la red ya existente en los diferentes ríos y quebradas del sector. El plan de vigilancia permitirá detectar condiciones de riesgo toxicológico sobre todo cuando el agua es destinada para consumo humano, debido a descargas accidentales y/o clandestinas de materiales tóxicos y, aunque su identificación y cuantificación no son sencillas, sí es posible implementar “bioensayos de control” que adviertan la presencia de material peligroso.

5. CONCLUSIONES

En todos los ríos el índice de E. Coli es el parámetro que más incide en la calidad. El análisis estadístico muestra que en condiciones de estiaje este parámetro aporta con menos de una unidad de calidad al valor del ICA total, sobre todo en las zonas medias y bajas. Es de esperar que la construcción de los interceptores marginales (onerosa obra de saneamiento) tenga un efecto positivo en la reducción de la contaminación microbiana, sin aspirar a los niveles deseados (NMP/100 ML, semejantes a 1,000) por los factores anteriormente expuestos. Menos significativos que la polución microbiana, son la contaminación por materia orgánica y el descenso de oxígeno. Otros parámetros que restan calidad al recurso son los nutrientes de nitrógeno y fósforo, provenientes de fuentes puntuales como descargas de aguas residuales domésticas y fuentes no puntuales, difíciles e imposibles de controlar como lo son las descargas de escurrimiento directo superficial procedentes de áreas urbanas y rurales.

De los ríos estudiados, el Tomebamba puede ser catalogado como el cuerpo receptor más crítico en lo que se refiere a contaminación. En su parte baja (río Cuenca), su único uso posible corresponde a “transporte y asimilación de desechos”. En general, en las cabeceras de los ríos, la calidad bacteriológica es satisfactoria, pero esta calidad comienza a deteriorarse paulatinamente a partir de la parte media, experimentando una notable degradación en el área urbana de la ciudad, esto no solo ocurre con la calidad bacteriológica sino de todas las características evaluadas. Los recuentos de coliformes son superiores con tres o cuatro ciclos logarítmicos, a los establecidos por los criterios de calidad para varios usos, por esto, la contaminación bacteriana constituye el mayor problema en la calidad de los cuerpos receptores, representando así un problema de salud pública. El río Machángara presentó la calidad más alta durante el período de evaluación, con

un ICA máximo de 79.6 y un mínimo de 53.4; no obstante, en un monitoreo se detectó toxicidad en la última estación, esto es, pasando la zona del *parque industrial*, aunque esta situación fue esporádica, es importante un control sobre el vertido de las descargas industriales sobre todo de las instantáneas, las cuales según su naturaleza inciden fuertemente en el ecosistema.

Los cuatro ríos evaluados pertenecen a subcuencas frágiles, de alta pendiente, con períodos de retención cortos. La naturaleza química del agua demuestra poca capacidad de amortiguamiento, con alcalinidades que no superan los 65 mg/l como CaCO₃, en condiciones naturales; en general son aguas blandas, con bajas concentraciones de calcio y magnesio; bajas concentraciones de elementos como el sodio o potasio, lo que incrementa el efecto tóxico de metales pesados como el plomo y el cinc para los peces, por la débil posibilidad del agua para complejar los metales pesados en estas condiciones; se trata entonces de equilibrios químicos lábiles y de fácil modificación.

Previo a la asignación o concesión del recurso agua, organismos de control como la SENAGUA deben tomar en consideración estas características fundamentales que demuestran la fragilidad de los sistemas evaluados. Cualquier alteración de las zonas altas de estos ríos -por ejemplo, concesiones para actividades mineras- podría repercutir de forma directa y rápida en la calidad del agua, aspecto crítico cuando su uso es para consumo humano.

6. RECOMENDACIONES

Es necesaria una adecuada planificación urbana, que garantice la conexión total de las redes de alcantarillado a los interceptores marginales para impedir el vertido directo del agua residual doméstica a los cuerpos receptores. En cuanto al control de la calidad del agua, se debería iniciar un estudio relacionado con la formulación de un Índice de Calidad que incluya la presencia de sustancias tóxicas para ríos de alta montaña; para ello es necesario seleccionar el o los indicadores de toxicidad que sean representativos de las aguas estudiadas; por el alto contenido de nutrientes de fósforo en el río Tomebamba, quizás los plaguicidas órganos fosforados puedan considerarse los adecuados; en el río Yanuncay, el pronunciado color, acompañado de baja turbiedad, merece el estudio de su naturaleza; es decir, la identificación de las sustancias húmicas presentes, las cuales, de no ser eliminadas eficientemente en los procesos de potabilización convencionales, durante la cloración pueden generar subproductos como los trihalometanos (THM), de reconocido efecto tóxico; estudios realizados sobre estas sustancias se han enfocado en la búsqueda de Cloroformo CHCl₃; Bromo diclorometano CHBrCl₂; Dibromoclorometano CHBr₂Cl Tribromometano CHBr₃, o de sus principales precursores como los ácidos húmicos y los ácidos fúlvicos. En el río Machángara, después del Parque Industrial, los elementos tóxicos de interés pueden ser los metales pesados, como plomo, mercurio, arsénico o aluminio. Todas las sustancias mencionadas están

citadas en la Normativa TULSMA, para los distintos usos del agua. La razón de su búsqueda es importante por el efecto tóxico sobre el hombre y los ecosistemas en general; la severidad de sus efectos depende de la dosis recibida, el período de exposición y otros factores ambientales. La principal preocupación en el abastecimiento del agua potable es el efecto a largo plazo de la exposición crónica a niveles bajos de compuestos tóxicos, los cuales no son eliminados por los tratamientos convencionales aplicados en nuestro medio, por lo que la alternativa más segura es la protección del agua, desde su fuente (Pauta-Calle, 2014).

Todos los suministros de agua potable deben implementar un sistema de control de calidad del agua distribuida, no obstante, este control es variable en el tiempo y en espacio; para suministros pequeños, y sobre todo a nivel rural, esta actividad consistirá en la detección de organismos indicadores de contaminación fecal, para eliminar el riesgo de la transmisión de enfermedades hídricas, las cuales si no son oportunamente atendidas pueden producir la muerte de los consumidores en menos de una semana. Para suministros grandes y con potencial técnico y económico, el control de la calidad está encaminado a la búsqueda de sustancias peligrosas que, ingeridas en pequeñas dosis y por largos períodos, pueden producir una toxicidad crónica; por lo que se sugiere a los organismos de control, la selección, para cada una de las subcuencas, de indicadores de toxicidad del agua en los ríos, en función de los usos del suelo.

REFERENCIAS

- American Public Health Association (2005). Eaton, A. D., Clesceri, L. S., Rice, E. W., Greenberg, A. E., & Franson, M. A. H. (Eds.). *Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater, Centennial Edition* (21 edition).
- Carretero, M. I., & Pozo-Rodríguez, M. (2007). *Mineralogía aplicada. Salud y medio ambiente*. Recuperado de <https://www.paraninfo.es/catalogo/9788497324878/mineralogia-aplicada--salud-y-medio-ambiente>
- Catalán-La Fuente, J., & Catalán-Alonso, J.-M. (1992). *Ríos: Caracterización y calidad de sus aguas*.
- Chang-Gómez, J.-V. (2009). *Índices de calidad del agua—ICA*. Recuperado de <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/147>
- Cude, C. G. (2001). Oregon Water Quality Index a tool for evaluating water quality management effectiveness. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 37(1), 125-137. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.2001.tb05480.x>
- DEQ State Office. (s. f.). Water Quality—Idaho Department of Environmental Quality. Recuperado 8 de diciembre de 2019, de <https://www.deq.idaho.gov/water-quality/>
- Dinius, S. H. (1987). Design of an Index of Water Quality. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 23(5), 833-843. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.1987.tb02959.x>
- Washington, DC: Amer Public Health Assn.
- ETAPA. (2008). *Evolución de la calidad del agua de los tramos bajos de los ríos de la ciudad de Cuenca 2008*. Dirección de Gestión Ambiental.
- INEC. (2010). Población y Demografía. Recuperado 8 de diciembre de 2019, de <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/censo-de-poblacion-y-vivienda/>
- Jones, I. (2013). *The impact of extreme events on freshwater ecosystems*. London, U.K.: British Ecological Society.
- León-Vizcaíno, L. (1992). *Índices de calidad del agua (ICA), forma de estimarlos y aplicación en la cuenca Lerma-Chapala*. Presentado en VIII National Congress, 1992, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Morelos. Recuperado de [https://www.semanticscholar.org/paper/Indices-de-calidad-del-agua-\(ICA\)%2C-forma-de-y-en-la-Vizca%20ADno/e3ba9d2bf8f04d8662cb1e3ef5d381bbfdbae91](https://www.semanticscholar.org/paper/Indices-de-calidad-del-agua-(ICA)%2C-forma-de-y-en-la-Vizca%20ADno/e3ba9d2bf8f04d8662cb1e3ef5d381bbfdbae91)
- Marín-Galvín, R. (2019). *Fisicoquímica y microbiología de los medios acuáticos: Tratamiento y control de calidad de aguas—Dialnet* (2.ª ed.). Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=130557>
- Metcalfe & Eddy, Inc. (2003). *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse* (4.ª ed.). Recuperado de https://www.iberlibro.com/servlet/BookDetailsPL?bi=30432970902&searchurl=an%3Dmetcalf%2Bbeddy%26sortby%3D20%26tn%3Dwastewater%2Bengineering%2Btreatment%2Breuse&cm_sp=snippet--srp1--title1
- Ministerio del Ambiente. (2015). *Reforma texto unificado legislación secundaria, medio ambiente (TULSMA), libro VI, Decreto Ejecutivo 3516, Registro Oficial Suplemento 2, 31/03/2003*. Recuperado de <http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/05/Acuerdo-097.pdf>
- Pauta-Calle, G. (2014). *Estudio integral de la calidad del agua del río Burgay y evaluación del riesgo toxicológico por la probable presencia de plaguicidas* (Master thesis, Universidad de Cuenca). Recuperado de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/19831>
- Rauch, W., Henze, M., Koncsos, L., Reichert, P., Shanahan, P., Somlyódy, L., & Vanrolleghem, P. (1998, junio 21). *River water quality modelling: I. State of the art*. 8. Recuperado de <https://pdfs.semanticscholar.org/9a78/ea7669011a2efb418f80016c00b2e59b712a.pdf>
- SEMARNAT. (s. f.). Indicadores de calidad del agua. Recuperado 8 de diciembre de 2019, de http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/ibi_apps/WFServlet?IBIF_ex=D3_R_AGUA05_01&IBIC_user=dgeia_mce&IBIC_pass=dgeia_mce
- Sierra-Ramírez, C. (2011). *Calidad del agua. Evaluación y diagnóstico* (1st ed.). Medellín, Colombia: Universidad de Medellín.
- Tebbutt, T. H. Y. (1998a). 2—Characteristics of waters and wastewaters. En T. H. Y. Tebbutt (Ed.), *Principles of Water Quality control (Fifth Edition)* (pp. 12-27). <https://doi.org/10.1016/B978-075063658-2/50003-3>
- Tebbutt, T. H. Y. (1998b). 9—Introduction to treatment processes. En T. H. Y. Tebbutt (Ed.), *Principles of*

- Water Quality control (Fifth Edition)* (pp. 119-126).
<https://doi.org/10.1016/B978-075063658-2/50010-0>
- Te-Chow, V., Madiment, D., & Mays, L. (1994).
Hidrología Aplicada (1era Ed.).
- Temprano-González, J., Gabriel-Cervigni, M., Suárez-López, J., & Tejero-Monzón, J. (1996).
Contaminación en redes de alcantarillado urbano en tiempo de lluvia: Control en origen. *Revista de Obras Públicas*, 143(3352), 45-57.
- Torres, P., Cruz, C., Patiño, P., Escobar, J., & Pérez, A. (2010). Applying water quality indexes (WQI) to the use of water sources for human consumption. *Ingeniería e Investigación*, 30(3), 86-95.



Nota técnica / Technical note

Análisis cuantitativo de una mezcla binaria a partir de datos espectrofotométricos UV usando un método alternativo

Quantitative analysis of a binary mixture from UV spectrophotometric data using an alternative method

Robert Cazar , **Carlos Medina**, **Wilian Bravo**, **Verónica Sánchez**

Facultad de Ciencias & GETNano, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Panamericana Sur Km 1.5, Riobamba, Ecuador.

Autor para correspondencia: robert.cazar@gmail.com

Fecha de recepción: 27 de mayo de 2019 - Fecha de aceptación: 6 de septiembre de 2019

RESUMEN

Este trabajo describe un ejercicio de laboratorio útil para un curso de análisis instrumental. En el ejercicio se aplica un método alternativo para efectuar el análisis cuantitativo de una mezcla binaria a partir de datos espectrofotométricos UV. Para tal propósito se preparó una mezcla de concentraciones conocidas de ácido 4-aminobenzóico y ácido nicotínico, se registraron sus absorbancias a diferentes longitudes de onda en el intervalo de 242 a 330 nanómetros, y los datos producidos se sometieron al procedimiento alternativo. En éste se realiza una sencilla transformación de la ecuación de absorbancia de la mezcla para obtener una relación lineal a partir de la cual se calcula las concentraciones de sus componentes. Pese a su sencillez, el método produce una muy buena concordancia entre las concentraciones calculadas y las reales de los componentes, errores menores del 2% han sido encontrados. El ejercicio provee una interesante alternativa al procedimiento convencional que habitualmente se enseña en un curso de análisis instrumental.

Palabras clave: Análisis instrumental, análisis de mezclas, espectrofotometría UV.

ABSTRACT

This work describes a laboratory exercise useful for an instrumental analysis course. In the exercise, an alternative method is applied to carry out the quantitative analysis of a binary mixture from UV spectrophotometric data. For this purpose, a mixture with known concentrations of 4-aminobenzoic acid and nicotinic acid was prepared, its absorbances at several wavelengths in the interval of 242 to 330 nanometers were recorded, and the resulting data were subjected to the alternative procedure. In this one, a simple transformation on the absorbance equation of the mixture is applied to obtain a linear relationship from which the concentrations of the components are calculated. In spite of its simplicity, the method produces a very good agreement between the calculated concentrations and the actual ones, errors within 2% have been found. The exercise provides an interesting alternative to the conventional procedure customarily taught in an instrumental analysis course.

Keywords: Instrumental analysis, mixtures analysis, UV spectrophotometry.

1. INTRODUCCIÓN

La determinación de las concentraciones de los componentes de una mezcla es un tópico de gran importancia en las actividades de laboratorio de un curso de análisis instrumental. Comúnmente, el análisis cuantitativo de mezclas requiere el empleo de espectrofotometría UV (Afkhami & Baharam, 2005; Turabik, 2008; El-Bardicy, Lofty, El-Sayed, & El-Tarras, 2008; Parmar & Sharma, 2016; Attia, Nassar, El-Zeiny, & Serag, 2016; Hassan & Abdel-Gawad, 2018). En este tipo de espectroscopía, una muestra de materia se expone a radiación electromagnética UV. Esta radiación transporta un rango de energías capaz de equiparar a la diferencia de energía requerida para provocar una transición electrónica

en las moléculas presentes en la muestra. Tal fracción de energía es absorbida por las moléculas para promover a algunos de sus electrones a estados de energía superior. Un espectrómetro registra la intensidad de absorción de la radiación a diferentes longitudes de onda y el gráfico resultante de absorbancia (A) versus longitud de onda (λ) se denomina el espectro de absorción UV de la muestra. En las transiciones electrónicas asociadas con la espectroscopia UV participan electrones de enlaces simples (σ), de enlaces dobles (π) y electrones libres (n). Cuatro tipos de transiciones son posibles, a saber: (i) un electrón en un orbital de enlace σ se promueve a un orbital de antienlace σ^* , (ii) un electrón n se transfiere a un orbital



de antienlace σ^* , (iii) un electrón n se transfiere a un orbital de antienlace π^* , y (iv) un electrón en un orbital de enlace π se promueve a un orbital de antienlace π^* . Las dos primeras transiciones ocurren en la región del UV vacío, por lo que no son de utilidad práctica. Las transiciones (iii) y (iv) ocurren en la región del UV cercano, la cual corresponde a un rango de longitudes de onda de 190 nanómetros a 360 nanómetros. Tales transiciones ocurren en moléculas que poseen enlaces múltiples y/o heteroátomos con pares de electrones libres. Estos grupos funcionales se denominan cromóforos y son los responsables de las absorciones registradas en los espectros UV de moléculas orgánicas.

El procedimiento para el análisis de mezclas involucra la medición de la absorbancia total de la mezcla, la cual es igual a la suma de las absorbancias de sus componentes. La ecuación que se utiliza es:

$$A_{mezcla} = b \sum \varepsilon_i c_i \quad (1)$$

donde, A_{mezcla} es la absorbancia registrada para la mezcla, b es el camino óptico (ancho de la celda), ε_i es el coeficiente de extinción molar del componente i de la mezcla, y c_i es su concentración. La ecuación (1) asume la validez de la ley de Lambert-Beer y la actividad de las absorbancias (Gazdaru & Iorga, 2002; Bashford, 1983; Perkampus, 1992).

Para el caso más sencillo, una mezcla binaria, la ecuación adopta la siguiente forma:

$$A_{mezcla} = \varepsilon_1 b c_1 + \varepsilon_2 b c_2 \quad (2)$$

Habitualmente, a los estudiantes se les enseña a calcular las concentraciones c_1 y c_2 utilizando el método de las ecuaciones simultáneas (Vijayalakshmi, Abdul Feroz, Naga Masa, & Jaswanthi, 2017; Lofty, Hegazi, Rezk, & Omram, 2015). En tal método se registra las absorbancias de la mezcla y los coeficientes de extinción molar de los componentes a dos diferentes longitudes de onda y se construye un sistema con dos ecuaciones y dos incógnitas a partir del cual se obtienen las concentraciones de interés. En este trabajo se ilustra un procedimiento alternativo, el cual se basa en una sencilla transformación de la ecuación (2) para convertirla en una relación lineal y a partir de ella calcular las concentraciones de los componentes usando múltiples valores de absorbancia de la mezcla, en un rango particular de longitudes de onda de la región UV, mediante un análisis de regresión lineal utilizando la técnica de mínimos cuadrados. Por su naturaleza, este método es bastante simple de aplicar y entender por parte de los estudiantes, y además permite obtener resultados con un alto grado de exactitud.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El método bosquejado en el párrafo anterior fue desarrollado originalmente por K. A. Connors y J. Eboka, y ha sido empleado extensivamente en investigaciones en las que se efectúan análisis cuantitativos de mezclas (Connors, 1976, 1977; Connors & Eboka, 1979; Coello de Escobar & Zimnoch, 2014; Ghasemi & Mandoumi, 2008;

Naud, 1996; Gonzalez, Pablos, & Asuero, 1991; Coello de Escobar, Dallegrove, Lasarin, & Zimnoch, 2015). En el método se divide los términos de la ecuación (2) para $\varepsilon_1 b$ la cual se transforma en:

$$\frac{A_{mezcla}}{\varepsilon_1 b} = c_1 + c_2 \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1} \quad (3)$$

En la ecuación (3) se observa la existencia de una relación lineal entre las cantidades $A_{mezcla}/\varepsilon_1 b$ y $\varepsilon_2/\varepsilon_1$, esto es, la ecuación corresponde a una línea recta cuyo intercepto en el eje de ordenadas es c_1 y cuya pendiente es c_2 . Aplicando el método de regresión de mínimos cuadrados sobre un conjunto de datos $A_{mezcla}/\varepsilon_1 b$ versus $\varepsilon_2/\varepsilon_1$ recolectado en un rango apropiado de longitudes de onda, es posible calcular los parámetros de regresión, que a su vez proveen las concentraciones de los componentes de la mezcla. El método alterno difiere del método convencional en que éste emplea las absorbancias de un buen número de longitudes de onda, lo cual puede conducir a un mayor grado de exactitud de las concentraciones calculadas.

Para ilustrar la aplicación del método, se preparó una mezcla 1:1 en volumen de ácido 4-aminobenzóico y ácido nicotínico a partir de soluciones patrón de concentraciones 11 mg L⁻¹ y 22.4 mg L⁻¹, respectivamente, de tales ácidos combinando 25 mL de cada solución. Corrigiendo para dilución, las concentraciones reales de los ácidos en la mezcla son de 5.5 mg L⁻¹ y 11.2 mg L⁻¹, respectivamente. Los espectros UV de la mezcla y las soluciones patrón en el intervalo de longitudes de onda de 242 a 330 nanómetros fueron registrados en un espectrofotómetro Shimadzu UV-1601 de doble haz con dos celdas de cuarzo equiparables de 1 cm de camino óptico. Este instrumento garantiza un alto desempeño con un equipamiento que facilita una fácil operación. Los datos de absorbancia fueron tabulados y tratados usando el procedimiento descrito en la sección anterior con el objeto de calcular las concentraciones de los componentes de la mezcla. La Tabla 1 recoge los valores de absorbancia de la mezcla a varias longitudes de onda en el intervalo de 242 a 330 nanómetros y las respectivas transformaciones requeridas para aplicar el método.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de regresión por el método de mínimos cuadrados de los datos obtenidos para $A_{mezcla}/\varepsilon_1 b$ versus $\varepsilon_2/\varepsilon_1$ proporciona la ecuación (3).

$$\frac{A_{mezcla}}{\varepsilon_1 b} = 4.12 \times 10^{-5} + 8.92 \times 10^{-5} \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1} \quad (3)$$

De la ecuación se recaban los parámetros de regresión, esto es, el intercepto en el eje de ordenadas y la pendiente; que a su vez corresponden a las concentraciones de los componentes de la mezcla.

La Figura 1 muestra el diagrama de dispersión de los datos junto con la recta ajustada a ellos mediante la técnica de mínimos cuadrados. Una rápida inspección de la figura permite evidenciar que los datos experimentales manifiestan una muy buena concordancia con la recta calculada. En efecto, el valor de R^2 para el modelo de

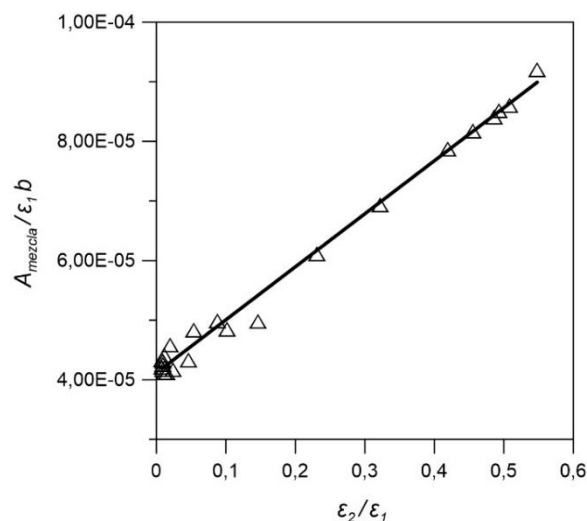
Tabla 1. Datos para el análisis cuantitativo de la mezcla de ácido 4-aminobenzóico y ácido nicotínico.

λ (nm)	A_{mezcla}	ϵ_1 (L cm ⁻¹ mol ⁻¹)	ϵ_2 (L cm ⁻¹ mol ⁻¹)	ϵ_2/ϵ_1	$A_{mezcla}/\epsilon_1 b$ (mol L ⁻¹)
242	0.293	3188.42	1746.96	0.548	9.20×10^{-5}
246	0.366	4222.96	2145.59	0.508	8.60×10^{-5}
250	0.478	5621.79	2772.15	0.493	8.51×10^{-5}
254	0.612	7285.54	3538.64	0.486	8.41×10^{-5}
258	0.730	8942.70	4068.55	0.455	8.17×10^{-5}
262	0.827	10509.72	4407.08	0.419	7.87×10^{-5}
266	0.814	11744.29	3785.33	0.322	6.93×10^{-5}
270	0.761	12468.87	2880.35	0.231	6.11×10^{-5}
274	0.621	12798.71	1306.01	0.102	4.85×10^{-5}
278	0.555	12811.95	590.5	0.046	4.33×10^{-5}
282	0.522	12517.88	300.06	0.024	4.17×10^{-5}
286	0.492	11936.36	178.88	0.015	4.12×10^{-5}
290	0.452	10986.05	118.29	0.011	4.12×10^{-5}
294	0.399	9586.49	82.23	0.009	4.17×10^{-5}
298	0.336	7986.28	60.11	0.008	4.21×10^{-5}
302	0.269	6318.55	55.30	0.009	4.26×10^{-5}
306	0.202	4652.15	38.47	0.008	4.34×10^{-5}
310	0.137	3172.52	29.33	0.009	4.31×10^{-5}
314	0.085	1923.38	20.20	0.011	4.41×10^{-5}
318	0.049	1065.01	20.20	0.020	4.58×10^{-5}
322	0.028	569.60	30.78	0.054	4.83×10^{-5}
326	0.012	234.46	20.68	0.088	4.99×10^{-5}
330	0.006	128.49	18.75	0.146	4.98×10^{-5}

Tabla 2. Resultados del análisis cuantitativo de la mezcla ácido 4-aminobenzóico / ácido nicotínico.

Componente	Concentración calculada (mg L ⁻¹)	Concentración real (mg L ⁻¹)	Error de la estima (%)
ácido 4-aminobenzóico	5.6	5.5	1.82
ácido nicotínico	11.0	11.2	1.79

regresión es 0.992. Tal resultado indica que el modelo de regresión es capaz de explicar el 99.2% de información presente en los datos, por lo que la bondad de ajuste de los datos al modelo lineal es muy buena.

**Figura 1.** Diagrama de dispersión de los datos y la recta ajustada por mínimos cuadrados.

De la inspección de la ecuación (3) se establece que la concentración calculada para ácido 4-aminobenzóico (c_1)

es 4.12×10^{-5} moles L⁻¹ la cual equivale a 5.6 mg L⁻¹; y la concentración calculada para el ácido nicotínico (c_2) es 8.92×10^{-5} moles L⁻¹ la cual equivale a 11.0 mg L⁻¹. La Tabla 2 resume los resultados obtenidos y el porcentaje de error de la estima.

De la Tabla 2 se puede observar que los errores en la estimación de las concentraciones de los componentes son menores del 2% por lo que se concluye que existe un muy buen acuerdo entre los valores calculados y los valores reales de los componentes de la mezcla. Esto permite evidenciar la bondad del método descrito.

4. CONCLUSIONES

En este trabajo se ha presentado un ejercicio útil para el laboratorio de un curso de análisis instrumental. El ejercicio consiste en la aplicación de un método alternativo para efectuar el análisis cuantitativo de una mezcla binaria a partir de datos espectrofotométricos UV. Para obtener las concentraciones de los componentes de la mezcla, el método se basa en un análisis de regresión lineal mediante la técnica de mínimos cuadrados ejecutado sobre un conjunto de datos obtenidos a partir de una simple transformación de la relación de absorbancia de la mezcla versus concentración de sus componentes. El método emplea múltiples valores de absorbancia de la mezcla para efectuar los cálculos, es sumamente sencillo de entender y aplicar por parte de los estudiantes, y

adicionalmente proporciona resultados con un alto grado de exactitud. Para ilustrar el método, se efectuó el análisis cuantitativo de una mezcla de ácido 4-aminobenzóico y ácido nicotínico. Los resultados obtenidos evidencian la bondad del procedimiento, ya que se obtuvieron valores con errores de estima menores al 2%. El método descrito constituye una interesante alternativa al procedimiento convencional de las ecuaciones simultáneas.

REFERENCIAS

- Afkhami, A., & Baharam, M. (2005). Mean centering of ratio spectra as a new spectrophotometric method for the analysis of binary and ternary mixtures. *Talanta*, 66(3), 712-720.
- Attia, K., Nassar, M., El-Zeiny, M., & Serag, A. (2016). Different spectrophotometric methods applied for the analysis of binary mixture of flucloxacillin and amoxicillin: A comparative study. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 161, 64-69.
- Bashford, C. (1983). *Spectrophotometry & Spectrofluorimetry: A Practical Approach*. IRL Press Limited, pp. 1-22.
- Coello de Escobar, C., & Zimnoch, J. (2014). Effect of the sol-gel route on the textural characteristics of silica imprinted with Rhodamine B. *Journal of Separation Science*, 37(7), 868-875.
- Coello de Escobar, C., Dallegrave, A., Lasarin, M., & Zimnoch, J. (2015). The sol-gel route effect on the preparation of molecularly imprinted silica-based materials for selective and competitive photocatalysis. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 486, 96-105.
- Connors, K. A. (1976). Linear graphical kinetic analysis of mixtures. *Analytical Chemistry*, 48(6), 87-89.
- Connors, K. A. (1977). Graphical interpolation method for the kinetic analysis of three-component mixtures. *Analytical Chemistry*, 49(12), 1650-1655.
- Connors, K. A., & Eboka, J. (1979). Alternative graphical methods for the spectrophotometric analysis of mixtures. *Analytical Chemistry*, 51(8), 1262-1266.
- El-Bardicy, M., Lofty, H., El-Sayed, M., & El-Tarras, M. (2008). Smart stability-indicating spectrophotometric methods for determination of binary mixtures without prior separation. *Journal of AOAC International*, 91(2), 299-310.
- Gazdaru, M., & Iorga, B. (2002). Spectrophotometric analysis of the mixtures of photosynthetic pigments. *Journal of Optoelectronics and Advanced Materials*, 4(1), 121-129.
- Ghasemi, J., & Mandoumi, N. (2008). A new algorithm for the characterization of thermodynamics of monomer-dimer process of dye stuffs by photometric temperature titration. *Acta Chimica Slovenica*, 55(2), 377-384.
- Gonzalez, A., Pablos, F., & Asuero, A. (1991). Spectrophotometric determination of acidic constants of compounds with unsuitable absorption features. *International Journal of Pharmaceutics*, 72, 193-197.
- Hassan, S., & Abdel-Gawad, S. (2018). Application of wavelet and Fourier transforms as powerful alternatives for derivative spectrophotometry in analysis of binary mixtures: A comparative study. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 191, 365-371.
- Lofty, H., Hegazi, M., Rezk, M., & Omram, Y. (2015). Comparative study of novel versus conventional two-wavelength spectrophotometric methods for analysis of spectrally overlapping binary mixtures. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 148, 328-337.
- Naud, D. L. (1996). Thermal decomposition of arylnitramines. *Journal of the Chemical Society, Perkin Transactions 2.0*, 1321-1324.
- Parmar, A., & Sharma, S. (2016). Derivative UV-vis absorption spectra as an invigorated spectrophotometric method for spectral resolution and quantitative analysis: Theoretical aspects and analytical application: A review. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 77, 44-53.
- Perkampus, H-H. (1992). *UV-VIS Spectroscopy and its application*. Berlin, Germany: Springer Lab Manuals book series. 244 pp.
- Turabik, M. (2008). Adsorption of basic dyes from single and binary component systems onto bentonite: Simultaneous analysis of basic red 43 and basic yellow 28 by first order derivative spectrophotometric analysis method. *Journal of Hazardous materials*, 158(1), 52-64.
- Vijayalakshmi, N., Abdul Feroz, S. K., Naga Masa, Ch., & Jaswanthi, P. (2017). Method development and validation for the estimation of Ofloxacin and Nitaxozanide present in bulk & tablet by simultaneous equation method using UV-spectrophotometry. *World Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 6(6), 1204-1211.