

Vol. 13, Núm. 1 (2021)

# aci

**avances**  
en ciencias e  
ingenierías



Vol. 13, Núm. 1 (2021)

**aci**

**avances**  
en ciencias e  
ingenierías

## ACI Avances en Ciencias e Ingenierías

ISSN(e): 2528-7788  
<http://avances.usfq.edu.ec/>  
Quito, Ecuador

Vol 13 nr 1  
31/08/2021  
DOI: <https://doi.org/10.18272/aci.v13i1>

**ACI Avances en Ciencias e Ingenierías** es una revista científica con revisión por pares (*peer-reviewed*), de acceso abierto (*open access*), e indexada que publica trabajos en ciencias exactas, físicas, biológicas, ambientales, ingenierías, e investigaciones en el interfaz de estas disciplinas desarrollados por científicos de cualquier institución o país.

**ACI Avances en Ciencias e Ingenierías** es publicada por USFQ PRESS, departamento editorial de la Universidad San Francisco de Quito USFQ y es parte de las siguientes bases, catálogos e índices: MIAR, Latindex, ARCHIVE.ORG, ROAD, DOAJ, REDIB, Google Scholar, Crossref, SIS.

**Editor General:** Eva O.L. Lantsoght, Universidad San Francisco de Quito USFQ, Ecuador y & Delft University of Technology, Delft, the Netherlands

### Editores Asociados

Melissa Infusino<sup>1</sup>  
René Parra Narváez<sup>2</sup>  
Daniela Almeida Streitwieser<sup>1</sup>  
Oihane Fernández Blanco<sup>1</sup>  
Lionel Trojman<sup>2</sup>  
Elisa Bonaccorso<sup>1</sup>  
Diego F. Cisneros-Heredia<sup>1</sup>  
Juan Manuel Guayasamin<sup>1</sup>  
Diana Alexandra Pazmiño<sup>1</sup>  
Esteban Suárez  
<sup>1</sup> Universidad San Francisco de Quito USFQ, Ecuador  
<sup>2</sup> Institut supérieur d'électronique de Paris, Francia

### Editor Biomasa

Juan Sebastián Proaño<sup>1</sup>  
<sup>1</sup> Universidad San Francisco de Quito USFQ, Ecuador

### Consejo Editorial

Andrea Arias, DuPont Pioneer, Johnston, IA, Estados Unidos  
Carlos Ventura, The University of British Columbia, Vancouver, BC, Canadá  
César Costa, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador, Ecuador  
César Iván Álvarez-Mendoza, Universidad Politécnica Salesiana, Quito, Ecuador  
Janio Jardán, Universidad Tecnológica Indoamérica, Quito, Ecuador  
Johannio Marulanda Casas, Universidad del Valle, Cali, Colombia  
John Blake, University of Florida, Gainesville, FL, Estados Unidos  
Luis Rincón, Universidad de Los Andes, Mérida, República Bolivariana de Venezuela  
Nikolay Aguirre, Universidad Nacional de Loja, Loja, Ecuador  
Nora Oleas, Universidad Tecnológica Indoamérica, Quito, Ecuador  
Oswaldo Morales Nápoles, Delft University of Technology, Países Bajos  
Robert Cazar, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador  
Ruth Mariela Álvarez, Universidad de Carabobo, República Bolivariana de Venezuela  
Salvador Godoy, Instituto Politécnico Nacional, México, México D.F.  
Santiago Ron, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Ecuador  
Yenisel Plasencia-Calaña, Maastricht University, The Netherlands

### International Scientific Committee

Paula Rojas, Universidad Adolfo Ibáñez, Santiago, Chile  
Janio Jardán, Universidad Tecnológica Indoamérica, Quito, Ecuador  
Nora Oleas, Universidad Tecnológica Indoamérica, Quito, Ecuador  
Gabriela Guevara, Universidad Técnica de Berlín, Germany  
Patricia Conde Cespedes, ISEP - école d'ingénieurs du numérique, France  
Tiziano Perea, Universidad Autónoma Metropolitana, México  
Howard Ramirez-Malule, Universidad del Valle, Colombia  
Patrick Venail, Universidad de Ingeniería & Tecnología, Perú  
Victor Murray, Universidad de Ingeniería & Tecnología, Perú  
Julio Valdivia-Silva, Universidad de Ingeniería & Tecnología, Perú  
Luca Sorriso-Valvo, Consiglio Nazionale delle Ricerche, Rome, Italy

**Producción editorial:** USFQ PRESS

**Corrección de estilo y ortotipográfica:** Reema Azar, Fabiola Diaz, Luis López, Whitney Rodriguez

**Diseño general y de cubierta:** Krushenka Bayas Ramírez

**Fotografía de cubierta:** Freepik

**Webmaster y manejo de OJS:** Jaime Páez, Luis López

Esta obra está bajo una licencia Creative Commons «Atribución-NoComercial- 4.0 Internacional».

El uso de nombres descriptivos generales, nombres comerciales, marcas registradas, etc. en esta publicación no implica, incluso en ausencia de una declaración específica, que estos nombres están exentos de las leyes y reglamentos de protección pertinentes y, por tanto, libres para su uso general.

La información presentada en esta revista es de entera responsabilidad de sus autores. USFQ PRESS presume que la información es verdadera y exacta a la fecha de publicación. Ni la Editorial, ni los editores, ni los editores, ni los editores, ni los editores, ni los editores, ni los editores, con respecto a los materiales contenidos en esta obra ni de los errores u omisiones que se hayan podido realizar.

### USFQ PRESS / Revista Avances en Ciencias e Ingenierías

Att. Eva Lantsoght, editora  
Universidad San Francisco de Quito USFQ  
Calle Diego de Robles y Vía Interoceánica, Campus Cumbayá  
Quito 170901, Ecuador.  
Correo electrónico: [avances@usfq.edu.ec](mailto:avances@usfq.edu.ec) - [usfqpress@usfq.edu.ec](mailto:usfqpress@usfq.edu.ec)

# Contenido

## Editorial

### Looking forward with ACI Avances en Ciencias e Ingenierías

Eva O.L. Lantsoght

## Sección B: Ciencias Biológicas y Ambientales

### ***Pseudomonas aeruginosa* transition from environmental generalist to human pathogen**

*Pseudomonas aeruginosa* transición de generalista ambiental a patógeno humano

Gabriela Vasco, Gabriel Trueba

## Sección C: Ingenierías

### **Utilización de la fibra de banano (*Musa sapientum*) proveniente de los pseudotallos para la elaboración de papel y el aprovechamiento de residuos agrícolas**

Use of pseudostem banana fiber (*Musa sapientum*) to produce paper and utilize agricultural residues

Ana Cevallos, Verónica Herdoíza, María Yagual, Veridian Zambrano, Pamela Llive, F. Carvajal

### **Recent advances in residual biomass conversion into bioenergy and value-added products: A review of the Ecuadorian situation**

Últimos avances en la conversión de biomasa residual en energía y productos con valor agregado: Revisión de la situación ecuatoriana

Sebastian Ponce, Jose Alvarez-Barreto, Daniela Almeida\*

### **Biopolímeros de cáscaras de mango y su importancia en la soberanía alimentaria**

Biopolymers of mango peels and their importance in food sovereignty

Andrea Sánchez-Montoya, Cristina Garcés-López, F.E. Carvajal-Larenas, Gisela Criollo-Criollo, Nicole Martínez-Ochoa, Pablo Terán-Maldonado, Carolina Reyes-Jácome, Joselyn Andrade-Cruz

### **Evaluación de grafeno y magnetita como membranas de intercambio de electrones en celdas de combustible microbianas con sustratos orgánicos para producir bioelectricidad**

Evaluation of graphene and magnetite as electron exchange membranes in microbial fuel cells with organic substrates to produce bioelectricity

Alex Guambo, Cristina Calderón, Magdy Echeverría

## Proceso editorial

## Looking forward with ACI Avances en Ciencias e Ingenierías

Eva O.L. Lantsoght<sup>1,2\*</sup>

Department of Engineering Structures, Civil Engineering and Geosciences, Delft University of Technology, Delft, the Netherlands

Politécnico, Universidad San Francisco de Quito, Quito, Ecuador

\* Corresponding author/ Autor para correspondencia: [elantsoght@usfq.edu.ec](mailto:elantsoght@usfq.edu.ec)

This issue marks the 13th volume of the journal *ACI Avances en Ciencias e Ingenierías*. In these 13 years, we have published a variety of articles from all disciplines of the exact sciences, biology, and engineering. Many articles focused on research done or applied in Ecuador, but we have also received contributions from international authors.

Not only have we widened the scope of articles and the geographical reach of *ACI Avances en Ciencias e Ingenierías*, but behind the scenes, we have been working hard to provide a better experience to all the users of the journal and its platform.

For our readers, we have worked over these years with a designer to make sure the layout of all articles is uniform and that each issue has a proper front cover design. We provide both the PDF of the complete issue and of each separate article.

Looking forward, our readers can expect a number of improvements. First of all, we are working on the redesign of the website. The new version will not only be more in line with the overall aesthetic of the journal, but it will also feature a reorganization of the information on the website. Besides these overall improvements, readers will also soon be able to access the articles from the last five years in HTML and XML formats. To more easily cite articles, we are planning to include a tool that allows for the direct download and importation of files for reference management software.

For our authors, we have worked over these years to shorten the time an article is under review and to shorten the time between acceptance of a paper and its publication. Our average time to a first editorial decision is 43 days. Upon acceptance, we provide all authors with copyediting of their articles, as well as a professional design. Moreover, *ACI Avances en Ciencias e Ingenierías* is an open access journal that allows authors to retain copyright of their own work and that does not charge an article processing fee. We are able to offer these services and open access publication to our authors thanks to the support of Universidad San Francisco de Quito and its publishing house, USFQ Press.

Looking forward, our authors can expect a number of improvements. We are planning a migration of the software platform that we use for handling manuscripts. We will publish articles in PDF, HTML, and XML formats. For new authors, we are preparing a number of tutorial videos to help them navigate the submission process and other features of the website. We are also improving the visibility of the journal and are planning campaigns of dissemination of our contents through various social media platforms.



Licencia Creative Commons  
Atribución-NoComercial 4.0



Editado por /  
Edited by:  
Eva O.L. Lantsoght

Recibido /  
Received:  
28/06/2021

Publicado en línea /  
Published online:  
31/08/2021



For our reviewers, we have worked over these years to improve the review form we use, as well as the accessibility of the review interface of the website. We have worked on expanding our database of reviewers so that we can reach out to reviewers with articles that align as closely as possible with their interests and expertise. We also have paired up with *Publons* so that reviewers can easily get recognition for their peer review work on the *Publons* platform. Moreover, for those who do not use *Publons*, we are happy to give review certificates to reviewers upon request.

Looking forward, our reviewers can expect a number of improvements. The planned migration of the software platform will make it more stable and will improve the experience of our reviewers. We also plan to publish the names of the reviewers of the articles in Volume 13 in issue Number 2, to publicly thank our reviewers for their contributions to our journal.

Since 2018, *ACI Avances en Ciencias e Ingenierías* has been indexed in and evaluated by Latindex 2.0. In addition, the journal is indexed in MIAR (Information Matrix for the Analysis of Journals), DOAJ (Directory of Open Access Journals), REDIB (Red Iberoamericana de Innovación y Conocimiento Científico), and SIS (Scientific Indexing Services). All articles are archived through archive.org. We also use Crossref to improve the metadata of the articles we publish.

Looking forward, we are working towards uploading our contents through dialnet. Moreover, we have passed the first steps of indexation in AmelICA (which focuses on open knowledge and non-profit academy-owned open access publications) and Redalyc (red de revistas científicas de acceso abierto no comercial propiedad de la academia) and are working towards completing the requirements to be considered in these catalogues. As such, we can raise the open access profile of our journal and make its contents more visible and easier to find online.

Certainly, 2020 has been a difficult year for many of us, and these difficulties also meant a temporary setback for the journal. In 2020, it was difficult for authors to find the time to address comments of reviewers, to access their data on computers in offices that were not accessible anymore, to find reviewers who were able to take on this volunteer effort, and to make sure we made editorial decisions in due time. We have experienced delays on all sides, resulting in delayed publication of the issues of Volume 12. This year, we are working towards bridging this gap and fulfilling our expected times to publish the issues again, and at the same time we are working on all the improvements described in this editorial.

In these past years, as editor-in-chief of *ACI Avances en Ciencias e Ingenierías*, I have seen more and more interest in our journal and its open access profile. For that reason, we are working towards improving the experience of all users of this journal. I am convinced that this journal has a bright future ahead, and I welcome and am grateful for your interest as readers, your contributions as authors, and your invaluable comments as reviewers.

## ***Pseudomonas aeruginosa* transition from environmental generalist to human pathogen**

**Gabriela Vasco<sup>1,2\*</sup>, Gabriel Trueba<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Universidad San Francisco de Quito USFQ, Campus Cumbayá, Diego de Robles e Interoceánica, Quito, Ecuador.

<sup>2</sup> Universidad Central del Ecuador, Campus El Dorado, Iquique y Sodiro, Quito, Ecuador.

\* Corresponding author/ Autor para correspondencia: [piavas\\_rc@hotmail.com](mailto:piavas_rc@hotmail.com)

## ***Pseudomonas aeruginosa* transición de generalista ambiental a patógeno humano**

### **Abstract**

Opportunistic bacteria *Pseudomonas aeruginosa* is a major concern as an etiological agent of nosocomial infections in humans. Many virulence factors used to colonize the human body are the same as those used by *P. aeruginosa* to thrive in the environment, such as membrane transport, biofilm formation, oxidation/reduction reaction, and others. The origin of *P. aeruginosa* is mainly from the environment; the adaptation to mammalian tissues may follow a source-sink evolution model. The environment is the source of many lineages, some of them capable of adaptation to the human body. Some lineages may adapt to humans and go through reductive evolution in which some genes are lost. The understanding of this process may be critical in order to implement better methods of controlling outbreaks in hospitals.

**Keywords:** bacteria, host adaptation, evolution, opportunistic,

### **Resumen**

La bacteria oportunista *Pseudomonas aeruginosa* es una de las principales preocupaciones por su rol como agente etiológico de infecciones nosocomiales humanas. En muchos casos, los mismos factores de virulencia que le permiten a *P. aeruginosa* causar infecciones en humanos pueden ser empleados para prosperar en el ambiente, como los sistemas de transporte de membranas, la formación de biopelículas, las reacciones de oxidación / reducción y otros. El origen de *P. aeruginosa* es principalmente el ambiente; mas su adaptación a los tejidos de los mamíferos puede seguir un modelo de evolución del tipo fuente-sumidero. El ambiente es la fuente de muchos linajes de esta bacteria, donde algunos de ellos son capaces de adaptarse al cuerpo humano. Algunos linajes pueden adaptarse a los humanos y pasar por una evolución reductiva en la que se pierden algunos genes. La comprensión de este proceso puede ser fundamental para implementar mejores métodos de control de brotes en los hospitales.

**Palabras clave:** bacteria, adaptación al hospedador, evolución, oportunista



Licencia Creative Commons  
Atribución-NoComercial 4.0



Editado por /  
Edited by:  
Daniela Almeida

Recibido /  
Received:  
07/03/2021

Aceptado /  
Accepted:  
04/05/2021

Publicado en línea /  
Published online:  
31/08/2021

## INTRODUCTION

*Pseudomonas aeruginosa* is a Gram-negative aerobic rod bacteria, ubiquitous in the environment, and an opportunistic human pathogen [1]. It accounts for 9-19% prevalence of bacterial nosocomial infections and 7% of community-acquired pneumonia cases [2, 3]. *Pseudomonas aeruginosa* infections occur in the respiratory tract [4,5], eyes [6], ears, skin wounds [7], bloodstream [1], or surgical site infections [8]. *Pseudomonas aeruginosa* can colonize human intestines and skin, and it can take advantage of any host's immunodeficiency to produce acute or chronic systemic infections [4, 9]. Moreover, it is argued that *P. aeruginosa* infections are acquired from the bacterial population that colonizes the proximal environment of the host [10].

*Pseudomonas aeruginosa* prospers in soil, tap water, plants, intestinal contents, food, puddles, and swimming pools; it has some remarkable abilities to survive in the presence of heavy metals and chlorine [11]. *Pseudomonas aeruginosa* lives surrounded by predatory amoeba, which may have selected bacterial cells with the ability to survive phagocytosis [12]. Living outside the host, *P. aeruginosa* adapts to changes (physical and chemical) and competes with other environmental microorganisms. This bacterium is a generalist and heterotrophic, possessing an arsenal of enzymes to oxidize many organic carbon sources, mostly decaying organic matter (and even xenobiotic compounds), to obtain energy [13-19].

One of the main problems associated with *P. aeruginosa* is the occurrence of nosocomial outbreaks where the source of the bacteria is unknown; many times hospitals have resorted to extreme measures such as plumbing system replacements to stop *P. aeruginosa* dissemination [20, 21]. Also, multidrug resistance *P. aeruginosa* is one of the most critical concerns of hospital-acquired infections [8].

In this review, we describe the complexity of the evolutionary processes involved in the adaptation of environmental *P. aeruginosa* to human tissues. The sporadic infections by environmental strains and infections by strains adapted to humans are examined. We will not address antibiotic resistance which is comprehensively covered by other manuscripts [22-24].

## SPORADIC INFECTIONS BY ENVIRONMENTAL STRAINS

*Pseudomonas aeruginosa* infections with environmental strains involve the migration of bacteria from a heterogeneous ecosystem (environment) to a more homogeneous and restrictive ecosystem (human tissues). This movement is also known as a source-sink dynamic. The *source* is the environment to which the bacteria are adapted, and the *sink* is the human tissue that is often a harsher milieu. The bacterial growth rate in the sink may not compensate for the death rate; therefore, the bacterial population in the sink is maintained by a constant introduction of bacteria from the source (environment outside the host) [25].

The adaptation of *P. aeruginosa* to different environments implies multiple mechanisms of DNA modifications such as inheritance of mutations, homologous recombination,





horizontal gene transfer (acquisition of accessory genome), and gene deletion [26, 27]. Environmental strains of *Pseudomonas* obtain nutrients from human tissues and neutralize immune responses using the same genes that are useful for dealing with environmental challenges [14, 28, 29]. For example, a type 3 secretion system (T3SS) is a translocation apparatus enabling the bacteria to export effector proteins from the bacterial cell to a eukaryotic cell without an extracellular step. Effector proteins can cause different consequences in the eukaryotic cell; exoenzyme (Exo) U is a phospholipase that induces cell death of predatory amoebas [28, 30] whereas ExoS, another T3SS-exported effector protein, is involved in anti-predatory responses against free-living amoeba [31]. The same T3SS and its ExoU phospholipase also kill macrophages [32]; the effector protein, ExoS, has two domains that act in ADP-ribosylation and GTPase activities in host cell proteins [32] and also activates Toll-like receptors in phagocytes [33].

In the environment outside the host, stress caused by toxic levels of metal ions like copper, iron, and zinc induces the synthesis of pyoverdine, superoxide dismutase, fumarate hydratase, metal cation efflux transporter CzrA, ATP-binding cassette transporters (ABC transporters), copper resistance oxidase proteins, and others [34]. These molecules protect *P. aeruginosa* from oxidative insults and increase the availability of iron. In the host, the same molecules protect bacteria against oxidative reactions (from neutrophils or macrophages) and help to capture iron [35], as iron is sequestered in the host's proteins [36]. Iron associates and inactivates Fur-like transcriptional repressors, which downregulate many genes required to scavenge iron from animal tissues [37].

The range of niches in different environments outside of humans is reflected in vast *P. aeruginosa* diversity [38]; this diversity makes it challenging to identify the environmental source of clinical strains, and some researchers indicate that all environmental *P. aeruginosa* could cause human disease [39]. In the last years, whole-genome sequencing (WGS) provided irrefutable evidence of the environmental origin of clinical *P. aeruginosa* [26, 27, 40, 41]. Some environmental clones are genetically indistinguishable from clinical isolates [39]; recently, whole-genome sequence comparison of geographically related strains (belonging to ST-1146, Mallorca, Spain) obtained from the environment and a clinical case showed no genetic differences, although the clinical isolate had a mutation in the *oprD* gene (causing carbapenem resistance) [42].

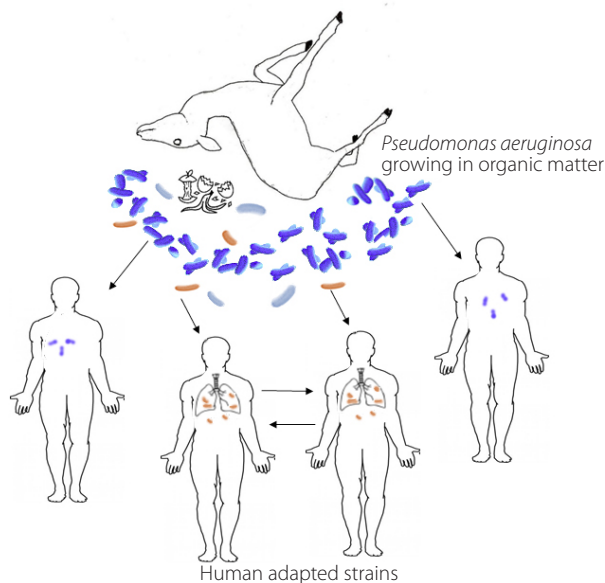
Nevertheless, recent evidence suggests also that not all environmental *P. aeruginosa* strains may be able to cause human infections; apparently some phenotypes are required to become human pathogens [43, 44]. Some evolutionary steps enabling *P. aeruginosa* strains to colonize human tissues may have occurred in the environment outside the host [27]; selective forces in niches outside the host may simulate some conditions in host tissues. For example, the abundance of environmental amoeba may select bacterial lineages able to survive macrophage attack. Nucleotide polymorphisms along the genome of clinical isolates (including epidemic and non-epidemic CF strains) have signs of positive selection (high rates of non-synonymous mutations, dN/dS > 1) [26, 45]; among the genes under positive selection are those involved in LPS biosynthesis, flagella, secretion systems, iron scavenging, and iron uptake [26]. Analysis of *P. aeruginosa* genomes also shows that strains causing clinical infections have suffered higher levels of homologous recombination in genes similar to those showing signs of positive selection: membrane transport structures, biofilm formation, oxide/reduction,

and other cell wall functions [27]. The recombination in the genome regions where positive selection is observed and the coincidence of recombinations in the same genes in many clinical isolates suggest that natural selection is affecting these strains.

## INFECTIONS BY STRAINS ADAPTED TO HUMANS

Recent evidence suggests that human-to-human transmission of *P. aeruginosa* may be associated with the ability of these strains to colonize intestines; patients suffering from *P. aeruginosa* infections were colonized by the same clones [46].

However, some *P. aeruginosa* may become adapted to humans and transmitted from person to person as happens among pulmonary strains of cystic fibrosis patients [47]. Human-adapted *P. aeruginosa* strains have suffered similar evolutionary pressures as strains causing sporadic infections; however, they have acquired additional adaptations during chronic infections, such as cystic fibrosis (CF) (Fig. 1). *Pseudomonas* strains, causing CF infections, tend to form a different group of *P. aeruginosa* populations from strains causing other types of infections in hospitals [27]. CF lung may select strains with additional aptitudes [26, 27] that may have been acquired in inhospitable niches outside the host before adaptation to human tissues [26, 27, 48, 49]. Some of these CF strains become epidemic strains (found in different continents and transferred from person to person) and show positive selection in core genome genes involved in oxidation/reduction, membrane transport, and type III secretion systems, among others [26].



**Figure 1.** Diverse *Pseudomonas aeruginosa* strains (blue bacteria) thrive in the environment degrading organic matter. Some strains have improved aptitude to grow in human tissue (brown bacteria); a subset of them have evolved additional adaptations and can be transmitted from human to human.



Going back to source-sink dynamics, if the sink conditions are not too harsh, the adaptation may occur especially if there is a constant migration rate [50] or in the presence of temporal less restrictive conditions [51]; chronic infections in CF patients may represent this. When an environmental generalist (such as *P. aeruginosa*) with a large genome (many genes required to thrive in an environment outside the host) [52–55] enters human tissue, a reductive evolution is prone to occur [18, 52–55]. In this scenario, evolution from environmental to pathogen involves gene loss due to small effective population size and lack of purifying selection; this gene loss is especially intense if these genes are unnecessary in the new niche (Fig. 1) [53, 56].

Longitudinal studies of cystic fibrosis *P. aeruginosa* strains have improved our understanding of evolutionary changes during chronic infections. Strains from these chronic infections show more profound evolutionary changes which probably occurred during infection of CF patients; paradoxically, some of these changes involve the loss of some apparent virulence factors. Evidence of reductive evolution may be apparent by the selection of amino acid auxotrophs in some strains [57, 58], loss of twitching motility [44], or reduction of type IV pili [59]; chronic infections of cystic fibrosis lungs may select patho-adaptive phenotypes [60]. Lungs from cystic fibrosis patients go through oxidative stress by the accumulation of hemoglobin, ferrous iron, and transferrin [61]. Pyoverdine (a siderophore involved in iron scavenging in human tissue) no longer seems a critical factor to obtain iron which may select pyoverdine mutants in genes such as *pvdS* (a sigma factor involved in pyoverdine transcription) and the pyoverdine gene and *PrrF* (an RNA that reduces pyoverdine expression and increases expression of HemO) [60]. An alternative iron-acquisition mechanism may take over in these mutants, allowing iron to be taken from the heme molecules; these strains may require heme oxygenase (HemO), which breaks the heme and releases biliverdin, carbon dioxide, and iron [62].

Also, the long-term colonization of the lungs selects variants of unusual biofilm formation. In *P. aeruginosa*, biofilm-mucoid phenotypes show increased expression of the exopolysaccharide Psl and alginate. Psl induction occurs by at least six different mutations in operons which occur when the infection lingers for a long time [63]. These strains also show mutations in the *lasR* gene, a transcriptional regulator of biofilm formation and other virulence genes [64].

Other *P. aeruginosa* adaptations to human hosts include higher mutation rates [65, 66], increased synthesis of multidrug-efflux pumps, higher antibiotic resistance, mucoid phenotypes, increased biofilm formation, higher tendency to form micro-colonies in tissue [67, 68], upregulation of metalloproteinases, lipid A modifications, reduced fucosyltransferase 2 expression, and better adhesion to tissues [27]. These host-adapted phenotypes have not been found outside the human host even in the same environment where infected patients reside [43, 44].

Some genotypes (LESA and ESB) could be found in CF patients on different continents [26, 27], suggesting human-to-human transmission. Evidence of human-to-human transmission has also been observed in some non-CF lineages (ST-111, ST-235, and ST-175) that caused infections in five hospitals in France during four years [47]—some of these were described in other countries [69]—and in the strain O12, a clone which caused a different type of non-CF infection in different countries during different years [39]. These observations may indicate that non-CF *P. aeruginosa* strains could also adapt to human tissues.



Additionally, adaptive evolution of bacteria to a new niche may involve antagonistic pleiotropy [70]; a mutation that is adaptive in the new environment could be detrimental in the original environment [71] and may account for many additional variations found in these strains. *In vitro* studies indicate that *P. aeruginosa* derived from CF patients are outcompeted by environmental *P. aeruginosa* [56, 72], which means that selective pressures during the host colonization make *P. aeruginosa* less capable of competing in the environment outside the host and that these strains are possibly transmitted from person to person [27].

## CONCLUSIONS

The environment outside the host may contain a variety of ecosystems with characteristics that allow the selection of bacterial lineages to colonize human tissue and evade the immune attack. The environment outside the host is also an endless source of opportunistic pathogens, which can infect immunocompromised patients. Controlling and preventing *P. aeruginosa* infections in hospitals are very complex endeavors that may require an understanding of *P. aeruginosa* population genetics of the strain causing the outbreak and its relationship with the environment. It is critical to recognize the physiological diversity of the different strains of *P. aeruginosa* causing infections. Current information suggests that the routes of transmission of the opportunistic pathogen *P. aeruginosa* are diverse: inanimate objects (such as plumbing and fixtures), human carriers (intestinal or respiratory tract), plants, animals, rivers, etc. It is imperative to use molecular tools to establish whether isolates obtained from different patients or during different timeframes are clonal; genomic information may allow exploring the presence of this pathogen in human carriers, inanimate objects, water sources, etc. Control and preventive measures should be diverse and in agreement with the strain's origin. Sometimes these measures may require the use of disinfectants or antibiotic treatment of carriers; in other cases, they may require the removal of plumbing or fixtures or other sources of organic matter or water sources.

## ACKNOWLEDGMENTS

This research was funded by Universidad San Francisco de Quito USFQ.

## AUTHOR CONTRIBUTIONS

Both authors wrote and reviewed the manuscript.

## CONFLICT OF INTEREST

The authors declare that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.

## REFERENCES

- [1] Juan, C., Peña, C., & Oliver, A. (2017). Host and Pathogen Biomarkers for Severe *Pseudomonas aeruginosa* Infections. *The Journal of Infectious Diseases*, 215(suppl\_1), S44-S51. doi: <https://doi.org/10.1093/infdis/jiw299>
- [2] Ding, C., Yang, Z., Wang, J., Liu, X., Cao, Y., Pan, Y., Han, L., & Zhan, S. (2016). Prevalence of *Pseudomonas aeruginosa* and antimicrobial-resistant *Pseudomonas aeruginosa* in patients with pneumonia in mainland China: A systematic review and meta-analysis. *International Journal of Infectious Diseases*, 49, 119-128. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijid.2016.06.014>
- [3] Ribeiro, Á. C. da S., Crozatti, M. T. L., Silva, A. A. da, Macedo, R. S., Machado, A. M. de O., & Silva, A. T. de A. (2020). *Pseudomonas aeruginosa* in the ICU: Prevalence, resistance profile, and antimicrobial consumption. *Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical*, 53, e20180498. doi: <https://doi.org/10.1590/0037-8682-0498-2018>
- [4] Monsó, E. (2017). Microbiome in chronic obstructive pulmonary disease. *Annals of Translational Medicine*, 5(12), 251-251. doi: <https://doi.org/10.21037/atm.2017.04.20>
- [5] Rodrigo-Troyano, A., & Sibila, O. (2017). The respiratory threat posed by multidrug resistant Gram-negative bacteria: MDR-GNB in respiratory infections. *Respirology*, 22(7), 1288-1299. doi: <https://doi.org/10.1111/resp.13115>
- [6] Teweldemedhin, M., Gebreyesus, H., Atsbaha, A. H., Asgedom, S. W., & Saravanan, M. (2017). Bacterial profile of ocular infections: A systematic review. *BMC Ophthalmology*, 17(1). doi: <https://doi.org/10.1186/s12886-017-0612-2>
- [7] Roser, D. J., Van Den Akker, B., Boase, S., Haas, C. N., Ashbolt, N. J., & Rice, S. A. (2014). *Pseudomonas aeruginosa* dose response and bathing water infection. *Epidemiology and Infection*, 142(03), 449-462. doi: <https://doi.org/10.1017/S0950268813002690>
- [8] Moremi, N., Claus, H., Vogel, U., & Mshana, S. E. (2017). Surveillance of surgical site infections by *Pseudomonas aeruginosa* and strain characterization in Tanzanian hospitals does not provide proof for a role of hospital water plumbing systems in transmission. *Antimicrobial Resistance & Infection Control*, 6(1), 6-56. doi: <https://doi.org/10.1186/s13756-017-0216-x>
- [9] De Soyza, A., & Winstanley, C. (2018). *Pseudomonas aeruginosa* and Bronchiectasis. In J. Chalmers, E. Polverino, & S. Aliberti (Eds.), *Bronchiectasis* (pp. 157-180). Springer International Publishing. Cham. doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-61452-6\\_12](https://doi.org/10.1007/978-3-319-61452-6_12)
- [10] Engelhart, S., Krizek, L., Glasmacher, A., Fischnaller, E., Marklein, G., & Exner, M. (2002). *Pseudomonas aeruginosa* outbreak in a haematology–oncology unit associated with contaminated surface cleaning equipment. *Journal of Hospital Infection*, 52(2), 93-98. doi: <https://doi.org/10.1053/jhin.2002.1279>
- [11] English, E. L., Schutz, K. C., Willsey, G. G., & Wargo, M. J. (2018). Transcriptional Responses of *Pseudomonas aeruginosa* to Potable Water and Freshwater. *Applied and Environmental Microbiology*, 84(6). doi: <https://doi.org/10.1128/AEM.02350-17>
- [12] Hahn, M. W., & Höfle, M. G. (2001). Grazing of protozoa and its effect on populations of aquatic bacteria. *FEMS Microbiology Ecology*, 35(2), 113-121. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1574-6941.2001.tb00794.x>
- [13] Abalos, A., Viñas, M., Sabaté, J., Manresa, M. A., & Solanas, A. M. (2004). Enhanced Biodegradation of Casablanca Crude Oil by a Microbial Consortium in Presence of a Rhamnolipid Produced by *Pseudomonas aeruginosa* AT10. *Biodegradation*, 15(4), 249-260. doi: <https://doi.org/10.1023/B:BIOD.0000042915.28757.fb>
- [14] Benie, C. K. D., Dadié, A., Guessennd, N., N'gbesso-Kouadio, N. A., Kouame, N. D., N'golo, D. C., Aka, S., Dako, E., Dje, K. M., & Dosso, M. (2017). Characterization of virulence potential of *Pseudomonas aeruginosa* isolated from bovine meat, fresh fish, and smoked fish. *European Journal of Microbiology and Immunology*, 7(1), 55-64. doi: <https://doi.org/10.1556/1886.2016.00039>
- [15] Das, K., & Mukherjee, A. K. (2007). Crude petroleum-oil biodegradation efficiency of *Bacillus subtilis* and *Pseudomonas aeruginosa* strains isolated from a petroleum-oil contaminated soil from North-East India. *Bioresource Technology*, 98(7), 1339-1345. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2006.05.032>
- [16] Gupta, B., Kunal, Rajor, A., & Kaur, J. (2018). Isolation, Characterisation of Novel *Pseudomonas* and *Enterobacter* sp. From Contaminated Soil of Chandigarh for Naphthalene Degradation. In S. K. Ghosh (Ed.), *Utilization and Management of Bioresources* (pp. 175-186). Springer Singapore. doi: [https://doi.org/10.1007/978-981-10-5349-8\\_17](https://doi.org/10.1007/978-981-10-5349-8_17)



- [17] Kotresha, D., & Vidyasagar, G. M. (2008). Isolation and characterisation of phenol-degrading *Pseudomonas aeruginosa* MTCC 4996. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 24(4), 541-547. doi: <https://doi.org/10.1007/s11274-007-9508-2>
- [18] Tortell, P. D., Maldonado, M. T., & Price, N. M. (1996). The role of heterotrophic bacteria in iron-limited ocean ecosystems. *Nature*, 383(6598), 330-332. doi: <https://doi.org/10.1038/383330a0>
- [19] Wei, Y.-H., Chou, C.-L., & Chang, J.-S. (2005). Rhamnolipid production by indigenous *Pseudomonas aeruginosa* J4 originating from petrochemical wastewater. *Biochemical Engineering Journal*, 27(2), 146-154. doi: <https://doi.org/10.1016/j.bej.2005.08.028>
- [20] Bert, F., Maubec, E., Bruneau, B., Berry, P., & Lambert-Zechovsky, N. (1998). Multi-resistant *Pseudomonas aeruginosa* outbreak associated with contaminated tap water in a neurosurgery intensive care unit. *Journal of Hospital Infection*, 39(1), 53-62. doi: [https://doi.org/10.1016/S0195-6701\(98\)90243-2](https://doi.org/10.1016/S0195-6701(98)90243-2)
- [21] Meyer, B. (2003). Approaches to prevention, removal and killing of biofilms. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 51(4), 249-253. doi: [https://doi.org/10.1016/S0964-8305\(03\)00047-7](https://doi.org/10.1016/S0964-8305(03)00047-7)
- [22] Chatterjee, M., Anju, C., Biswas, L., Anil Kumar, V., Gopi Mohan, C., & Biswas, R. (2016). Antibiotic resistance in *Pseudomonas aeruginosa* and alternative therapeutic options. *International Journal of Medical Microbiology: IJMM*, 306(1), 48-58. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijmm.2015.11.004>
- [23] Ruiz-Garbajosa, P., & Cantón, R. (2017). Epidemiology of antibiotic resistance in *Pseudomonas aeruginosa*. Implications for empiric and definitive therapy. *Revista Espanola De Quimioterapia*, 30 Suppl 1, 8-12. doi: <https://doi.org/10.13039/100004325>
- [24] Subedi, D., Vijay, A. K., & Willcox, M. (2018). Overview of mechanisms of antibiotic resistance in *Pseudomonas aeruginosa*: An ocular perspective: Mechanism of antimicrobial resistance in *P. aeruginosa*. *Clinical and Experimental Optometry*, 101(2), 162-171. doi: <https://doi.org/10.1111/coo.12621>
- [25] Sokurenko, E. V., Gomulkiewicz, R., & Dykhuizen, D. E. (2006). Source-sink dynamics of virulence evolution. *Nature Reviews Microbiology*, 4(7), 548-555. doi: <https://doi.org/10.1038/nrmicro1446>
- [26] Dettman, J. R., Rodrigue, N., Aaron, S. D., & Kassen, R. (2013). Evolutionary genomics of epidemic and nonepidemic strains of *Pseudomonas aeruginosa*. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(52), 21065-21070. doi: <https://doi.org/10.1073/pnas.1307862110>
- [27] Dettman, Jeremy R., Rodrigue, N., & Kassen, R. (2015). Genome-Wide Patterns of Recombination in the Opportunistic Human Pathogen *Pseudomonas aeruginosa*. *Genome Biology and Evolution*, 7(1), 18-34. doi: <https://doi.org/10.1093/gbe/evu260>
- [28] Pukatzki, S., Kessin, R. H., & Mekalanos, J. J. (2002). The human pathogen *Pseudomonas aeruginosa* utilizes conserved virulence pathways to infect the social amoeba *Dictyostelium discoideum*. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 99(5), 3159-3164. doi: <https://doi.org/10.1073/pnas.052704399>
- [29] Wolfgang, M. C., Kulasekara, B. R., Liang, X., Boyd, D., Wu, K., Yang, Q., Miyada, C. G., & Lory, S. (2003). Conservation of genome content and virulence determinants among clinical and environmental isolates of *Pseudomonas aeruginosa*. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 100(14), 8484-8489. doi: <https://doi.org/10.1073/pnas.0832438100>
- [30] Abd, H., Wretling, B., Saeed, A., Idsund, E., Hultenby, K., & Sandström, G. (2008). *Pseudomonas aeruginosa* Utilises Its Type III Secretion System to Kill the Free-Living Amoeba *Acanthamoeba castellanii*. *Journal of Eukaryotic Microbiology*, 55(3), 235-243. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1550-7408.2008.00311.x>
- [31] Matz, C., Moreno, A. M., Alhede, M., Manefield, M., Hauser, A. R., Givskov, M., & Kjelleberg, S. (2008). *Pseudomonas aeruginosa* uses type III secretion system to kill biofilm-associated amoebae. *The ISME Journal*, 2(8), 843-852. doi: <https://doi.org/10.1038/ismej.2008.47>
- [32] Hauser, A. R. (2009). The type III secretion system of *Pseudomonas aeruginosa*: Infection by injection. *Nature Reviews Microbiology*, 7(9), 654-665. doi: <https://doi.org/10.1038/nrmicro2199>
- [33] Epelman, S., Stack, D., Bell, C., Wong, E., Neely, G. G., Krutzik, S., Miyake, K., Kubes, P., Zbytniuk, L. D., Ma, L. L., Xie, X., Woods, D. E., & Mody, C. H. (2004). Different Domains of *Pseudomonas aeruginosa* Exoenzyme S Activate Distinct TLRs. *The Journal of Immunology*, 173(3), 2031-2040. <https://doi.org/10.4049/jimmunol.173.3.2031>



- [34] Teitzel, G. M., Geddie, A., De Long, S. K., Kirisits, M. J., Whiteley, M., & Parsek, M. R. (2006). Survival and Growth in the Presence of Elevated Copper: Transcriptional Profiling of Copper-Stressed *Pseudomonas aeruginosa*. *Journal of Bacteriology*, 188(20), 7242-7256. doi: <https://doi.org/10.1128/JB.00837-06>
- [35] Schalk, I. J., & Guillon, L. (2013). Pyoverdine biosynthesis and secretion in *Pseudomonas aeruginosa*: Implications for metal homeostasis: Pyoverdine biosynthesis. *Environmental Microbiology*, 15(6), 1661-1673. doi: <https://doi.org/10.1111/1462-2920.12013>
- [36] Meyer, J. M., Neely, A., Stintzi, A., Georges, C., & Holder, I. A. (1996). Pyoverdinin is essential for virulence of *Pseudomonas aeruginosa*. *Infection and Immunity*, 64(2), 518-523. doi: <https://doi.org/10.1128/iai.64.2.518-523.1996>
- [37] Touati, D. (2000). Iron and Oxidative Stress in Bacteria. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 373(1), 1-6. doi: <https://doi.org/10.1006/abbi.1999.1518>
- [38] Silby, M. W., Winstanley, C., Godfrey, S. A. C., Levy, S. B., & Jackson, R. W. (2011). *Pseudomonas* genomes: Diverse and adaptable. *FEMS Microbiology Reviews*, 35(4), 652-680. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1574-6976.2011.00269.x>
- [39] Pimay, J.-P., Bilocq, F., Pot, B., Cornelis, P., Zizi, M., Van Eldere, J., Deschaght, P., Vaneechoutte, M., Jennes, S., Pitt, T., & De Vos, D. (2009). *Pseudomonas aeruginosa* Population Structure Revisited. *PLoS ONE*, 4(11), e7740. doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0007740>
- [40] Parcell, B. J., Oravcova, K., Pinheiro, M., Holden, M. T. G., Phillips, G., Turton, J. F., & Gillespie, S. H. (2018). *Pseudomonas aeruginosa* intensive care unit outbreak: Winnowing of transmissions with molecular and genomic typing. *Journal of Hospital Infection*, 98(3), 282-288. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jhin.2017.12.005>
- [41] Quick, J., Cumley, N., Wearn, C. M., Niebel, M., Constantinidou, C., Thomas, C. M., Pallen, M. J., Moiemien, N. S., Bamford, A., Oppenheim, B., & Loman, N. J. (2014). Seeking the source of *Pseudomonas aeruginosa* infections in a recently opened hospital: An observational study using whole-genome sequencing. *BMJ Open*, 4(11), e006278. doi: <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2014-006278>
- [42] Sánchez, D., Gomila, M., Bennasar, A., Lalucat, J., & García-Valdés, E. (2014). Genome Analysis of Environmental and Clinical *Pseudomonas aeruginosa* Isolates from Sequence Type-1146. *PLoS ONE*, 9(10), e107754. doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0107754>
- [43] Lucchetti-Miganeh, C., Redelberger, D., Chambonnier, G., Rechenmann, F., Elsen, S., Bordi, C., Jeannot, K., Attrée, I., Plésiat, P., & de Bentzmann, S. (2014). *Pseudomonas aeruginosa* Genome Evolution in Patients and under the Hospital Environment. *Pathogens*, 3(2), 309-340. doi: <https://doi.org/10.3390/pathogens3020309>
- [44] Mahenthiralingam, E., Campbell, M. E., & Speert, D. P. (1994). Nonmotility and phagocytic resistance of *Pseudomonas aeruginosa* isolates from chronically colonized patients with cystic fibrosis. *Infection and Immunity*, 62(2), 596-605.
- [45] Diaz Caballero, J., Clark, S. T., Coburn, B., Zhang, Y., Wang, P. W., Donaldson, S. L., Tullis, D. E., Yau, Y. C. W., Waters, V. J., Hwang, D. M., & Guttman, D. S. (2015). Selective Sweeps and Parallel Pathoadaptation Drive *Pseudomonas aeruginosa* Evolution in the Cystic Fibrosis Lung. *MBio*, 6(5). e00981-15 doi: <https://doi.org/10.1128/mBio.00981-15>
- [46] Tamburini, F. B., Andermann, T. M., Tkachenko, E., Senchyna, F., Banaei, N., & Bhatt, A. S. (2018). Precision identification of diverse bloodstream pathogens in the gut microbiome. *Nature Medicine*, 24(12), 1809-1814. doi: <https://doi.org/10.1038/s41591-018-0202-8>
- [47] Cholley, P., Thouverez, M., Hocquet, D., van der Mee-Marquet, N., Talon, D., & Bertrand, X. (2011). Most Multidrug-Resistant *Pseudomonas aeruginosa* Isolates from Hospitals in Eastern France Belong to a Few Clonal Types. *Journal of Clinical Microbiology*, 49(7), 2578-2583. doi: <https://doi.org/10.1128/JCM.00102-11>
- [48] Bhagirath, A. Y., Li, Y., Somayajula, D., Dadashi, M., Badr, S., & Duan, K. (2016). Cystic fibrosis lung environment and *Pseudomonas aeruginosa* infection. *BMC Pulmonary Medicine*, 16(1). doi: <https://doi.org/10.1186/s12890-016-0339-5>
- [49] Williams, B. J., Dehnhostel, J., & Blackwell, T. S. (2010). *Pseudomonas aeruginosa*: Host defense in lung diseases. *Respirology*, 15(7), 1037-1056. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1440-1843.2010.01819.x>
- [50] Perron, G. G., Gonzalez, A., & Buckling, A. (2007). Source-sink dynamics shape the evolution of antibiotic resistance and its pleiotropic fitness cost. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 274(1623), 2351-2356. doi: <https://doi.org/10.1098/rspb.2007.0640>
- [51] Holt, R. D., Barfield, M., & Gomulkiewicz, R. (2004). Temporal Variation Can Facilitate Niche Evolution in Harsh Sink Environments. *The American Naturalist*, 164(2), 187-200. doi: <https://doi.org/10.1086/422343>



- [52] Kassen, R. (2002). The experimental evolution of specialists, generalists, and the maintenance of diversity: Experimental evolution in variable environments. *Journal of Evolutionary Biology*, 15(2), 173-190. doi: <https://doi.org/10.1046/j.1420-9101.2002.00377.x>
- [53] Juárez-Vázquez, A. L., Edirisinghe, J. N., Verdusco-Castro, E. A., Michalska, K., Wu, C., Noda-García, L., Babnigg, G., Endres, M., Medina-Ruiz, S., Santoyo-Flores, J., Carrillo-Tripp, M., Ton-That, H., Joachimiak, A., Henry, C. S., & Barona-Gómez, F. (2017). Evolution of substrate specificity in a retained enzyme driven by gene loss. *eLife*, 6. doi: <https://doi.org/10.7554/eLife.22679>
- [54] Zhang, X., Liu, X., Liang, Y., Guo, X., Xiao, Y., Ma, L., Miao, B., Liu, H., Peng, D., Huang, W., Zhang, Y., & Yin, H. (2017). Adaptive Evolution of Extreme Acidophile *Sulfobacillus thermosulfidooxidans* Potentially Driven by Horizontal Gene Transfer and Gene Loss. *Applied and Environmental Microbiology*, 83(7). e03098-16. doi: <https://doi.org/10.1128/AEM.03098-16>
- [55] Moran, N. A. (2002). Microbial minimalism: Genome reduction in bacterial pathogens. *Cell*, 108(5), 583-586. doi: [https://doi.org/10.1016/S0092-8674\(02\)00665-7](https://doi.org/10.1016/S0092-8674(02)00665-7)
- [56] Andersen, S. B., Ghoul, M., Griffin, A. S., Petersen, B., Johansen, H. K., & Molin, S. (2017). Diversity, Prevalence, and Longitudinal Occurrence of Type II Toxin-Antitoxin Systems of *Pseudomonas aeruginosa* Infecting Cystic Fibrosis Lungs. *Frontiers in Microbiology*, 8, 1108. doi: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.01180>
- [57] Barth, A. L., & Pitt, T. L. (1996). The high amino-acid content of sputum from cystic fibrosis patients promotes growth of auxotrophic *Pseudomonas aeruginosa*. *Journal of Medical Microbiology*, 45(2), 110-119. doi: <https://doi.org/10.1099/00222615-45-2-110>
- [58] Thomas, S. R. (2000). Increased sputum amino acid concentrations and auxotrophy of *Pseudomonas aeruginosa* in severe cystic fibrosis lung disease. *Thorax*, 55(9), 795-797. doi: <https://doi.org/10.1136/thorax.55.9.795>
- [59] Huse, H. K., Kwon, T., Zlosnik, J. E. A., Speert, D. P., Marcotte, E. M., & Whiteley, M. (2010). Parallel Evolution in *Pseudomonas aeruginosa* over 39,000 Generations In Vivo. *MBio*, 1(4). doi: <https://doi.org/10.1128/mBio.00199-10>
- [60] Nguyen, A. T., O'Neill, M. J., Watts, A. M., Robson, C. L., Lamont, I. L., Wilks, A., & Oglesby-Sherrouse, A. G. (2014). Adaptation of Iron Homeostasis Pathways by a *Pseudomonas aeruginosa* Pyoverdine Mutant in the Cystic Fibrosis Lung. *Journal of Bacteriology*, 196(12), 2265-2276. doi: <https://doi.org/10.1128/JB.01491-14>
- [61] Ghio, A. J., Roggli, V. L., Soukup, J. M., Richards, J. H., Randell, S. H., & Muhlebach, M. S. (2013). Iron accumulates in the lavage and explanted lungs of cystic fibrosis patients. *Journal of Cystic Fibrosis*, 12(4), 390-398. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jcf.2012.10.010>
- [62] Wegiel, B., Nemeth, Z., Correa-Costa, M., Bulmer, A. C., & Otterbein, L. E. (2014). Heme Oxygenase-1: A Metabolic Nike. *Antioxidants & Redox Signaling*, 20(11), 1709-1722. doi: <https://doi.org/10.1089/ars.2013.5667>
- [63] Huse, H. K., Kwon, T., Zlosnik, J. E. A., Speert, D. P., Marcotte, E. M., & Whiteley, M. (2013). *Pseudomonas aeruginosa* Enhances Production of a Non-Alginate Exopolysaccharide during Long-Term Colonization of the Cystic Fibrosis Lung. *PLoS ONE*, 8(12), e82621. doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0082621>
- [64] Smith, E. E., Buckley, D. G., Wu, Z., Saenphimmachak, C., Hoffman, L. R., D'Argenio, D. A., Miller, S. I., Ramsey, B. W., Speert, D. P., Moskowitz, S. M., Burns, J. L., Kaul, R., & Olson, M. V. (2006). Genetic adaptation by *Pseudomonas aeruginosa* to the airways of cystic fibrosis patients. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 103(22), 8487-8492. doi: <https://doi.org/10.1073/pnas.0602138103>
- [65] Oliver, A., Cantón, R., Campo, P., Baquero, F., & Blázquez, J. (2000). High frequency of hypermutable *Pseudomonas aeruginosa* in cystic fibrosis lung infection. *Science*, 288(5469), 1251-1254. doi: <https://doi.org/10.1126/science.288.5469.1251>
- [66] Mena, A., Smith, E. E., Burns, J. L., Speert, D. P., Moskowitz, S. M., Perez, J. L., & Oliver, A. (2008). Genetic Adaptation of *Pseudomonas aeruginosa* to the Airways of Cystic Fibrosis Patients Is Catalyzed by Hypermutation. *Journal of Bacteriology*, 190(24), 7910-7917. doi: <https://doi.org/10.1128/JB.01147-08>
- [67] Lam, J., Chan, R., Lam, K., & Costerton, J. W. (1980). Production of mucoid microcolonies by *Pseudomonas aeruginosa* within infected lungs in cystic fibrosis. *Infection and Immunity*, 28(2), 546-556. doi: <https://doi.org/10.1128/iai.28.2.546-556.1980>
- [68] Sriramulu, D. D. (2005). Microcolony formation: A novel biofilm model of *Pseudomonas aeruginosa* for the cystic fibrosis lung. *Journal of Medical Microbiology*, 54(7), 667-676. doi: <https://doi.org/10.1099/jmm.0.45969-0>





- [69] Treepong, P., Kos, V. N., Guyeux, C., Blanc, D. S., Bertrand, X., Valot, B., & Hocquet, D. (2018). Global emergence of the widespread *Pseudomonas aeruginosa* ST235 clone. *Clinical Microbiology and Infection*, 24(3), 258-266. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cmi.2017.06.018>
- [70] Yang, L., Jelsbak, L., Marvig, R. L., Damkiaer, S., Workman, C. T., Rau, M. H., Hansen, S. K., Folkesson, A., Johansen, H. K., Gofu, O., Hoiby, N., Sommer, M. O. A., & Molin, S. (2011). Evolutionary dynamics of bacteria in a human host environment. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(18), 7481-7486. doi: <https://doi.org/10.1073/pnas.1018249108>
- [71] Kawecki, T. J., & Ebert, D. (2004). Conceptual issues in local adaptation. *Ecology Letters*, 7(12), 1225-1241. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2004.00684.x>
- [72] Chatterjee, P., Davis, E., Yu, F., James, S., Wildschutte, J. H., Wiegmann, D. D., Sherman, D. H., McKay, R. M., LiPuma, J. J., & Wildschutte, H. (2017). Environmental Pseudomonads Inhibit Cystic Fibrosis Patient-Derived *Pseudomonas aeruginosa*. *Applied and Environmental Microbiology*, 83(2). doi: <https://doi.org/10.1128/AEM.02701-16>

## Utilización de la fibra de banano (*Musa sapientum*) proveniente de los pseudotallos para la elaboración de papel y el aprovechamiento de residuos agrícolas

Ana Cevallos<sup>1</sup>, Verónica Herdoíza<sup>1</sup>, María Yagual<sup>1</sup>, Veridian Zambrano<sup>1</sup>, Pamela Llive<sup>1</sup>, F. Carvajal<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Universidad San Francisco de Quito USFQ, Colegio de Ciencias e Ingenierías, Quito, Ecuador.

\*Autor para correspondencia/Corresponding Author: [fcarvajal@usfq.edu.ec](mailto:fcarvajal@usfq.edu.ec)

## Use of pseudostem banana fiber (*Musa sapientum*) to produce paper and utilize agricultural residues

### Abstract

This bibliographic review had the objective to investigate the effect that each stage of the Kraft process has in order to obtain a high-quality paper. Moreover, it analyzed the opportunity to reuse banana's (*Musa sapientum*) pseudostem fiber for the potential of the extracted fiber, for the elaboration of biodegradable and non-toxic paper. The investigation details that the process to obtain the fiber starts with the separation of lignin from cellulose using a digester, followed by washing, bleaching, beating, pressing, and drying. The quality indicators used in this review were: cellulose and lignin percentage in the fiber, brightness, and pH of the different types of paper. The analysis of the information and the data collected shows that all banana fibers have between 13-15% of lignin. These results give banana paper similar characteristics as the paper obtained from wood fiber. Likewise, it was determined that the chemical compounds used in the process, influence the brightness and pH of the paper. The reviewed process suggests that the banana production chain could become not only more efficient but also more effective, with the possibility of creating an alternative to paper production and a reduction in deforestation. It is expected to see this type of paper being manufactured in the near future.

**Keywords:** banana waste; biodegradable; mechanical properties; paper; re-utilization

### Resumen

La presente revisión bibliográfica tuvo como objetivo el observar el efecto que cada etapa del proceso Kraft tiene para poder obtener un papel de calidad adecuada. La investigación detalla que la obtención de la fibra comienza con la separación de lignina de la celulosa por medio de un digestor, seguido por las etapas de lavado, blanqueado, golpeado, prensado y secado. Asimismo, se analizó el aprovechamiento de los residuos del banano (*Musa sapientum*), por el potencial que tiene la fibra de esta fruta extraída principalmente de los pseudotallos, para la elaboración de un papel biodegradable y no tóxico. Esta revisión se realizó considerando como indicadores de calidad el porcentaje de celulosa y lignina en la fibra, brillo y pH en diferentes tipos de papel. El análisis de la información y los datos recopilados mostró que la fibra tiene



Licencia Creative Commons  
Atribución-NoComercial 4.0



Editado por /

Edited by:

Eva O.L. Lantsoght /  
Juan Sebastián  
Proaño

Recibido /

Received:

06/04/2020

Aceptado /

Accepted:

01/10/2020

Publicado en línea

/ Published online:

31/08/2021



entre 13-15% de lignina. Esto le confiere al papel de banano propiedades comparables con la fibra maderera. Asimismo, se observó que los compuestos químicos utilizados durante el procesamiento influyen en el brillo y el pH del producto final. El proceso investigado, haría más eficiente y eficaz la cadena de producción del banano, con posibilidades de generar una alternativa a la producción de papel y reducir la tala de árboles. Se sugiere promover la utilización de la fibra de banano para la producción de papel y su comercialización.

**Palabras clave:** desechos; biodegradable; propiedades físicas; papel; reutilización

---

## INTRODUCCIÓN

El proceso para fabricar papel es conocido como Kraft, en el cual se somete a la madera previamente cortada y secada a una solución de hidróxido de sodio al 12% (NaOH) y sulfuro de sodio al 4% ( $\text{Na}_2\text{S}$ ) con alta presión y temperatura (105°C) [1]. La pulpa obtenida es lavada con agua caliente, secada, triturada y cernida utilizando tamices de mallas de 70-95 [5]. Se blanquea por medio de una dilución de 50-60% de hipoclorito de sodio ( $\text{NaClO}$ ) en agua hirviendo, donde se coloca la pulpa por 45 minutos, agitando la mezcla cada 15 min. Se lava la pulpa las veces necesarias hasta que tenga una concentración de 5% de cloro residual y se añade entre 5-6% de carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) [2].

En la actualidad, la creciente preocupación por el medio ambiente ha hecho que la demanda de la utilización de fibras vegetales de origen no maderero para la fabricación de papel, se incremente debido a que los compuestos de esta fibra tienen muchas ventajas y aplicaciones. Por ejemplo, permite desarrollar nuevos componentes estructurales ligeros y ecológicamente adaptables debido a sus propiedades superiores, como baja densidad, rigidez adecuada, biodegradabilidad, reciclabilidad, renovabilidad y poca toxicidad comparado con el papel convencional [3]. Más aún, en un país tropical como Ecuador, la materia prima para la elaboración de papel de banano es ampliamente accesible, puesto que estas plantas están disponibles en abundancia y no son completamente usadas. Asimismo, el cultivo de banano es importante debido a que genera empleo para aproximadamente un millón de familias [4], por lo que al aprovechar las fibras de esta planta, se ampliará la demanda de mano de obra.

Entre los productos que se pueden fabricar está el papel para escribir y el papel para envolver alimentos, entre otros [5]. Es decir, el utilizar el tallo del banano contribuye a la sostenibilidad, generación de empleo y aprovechamiento de desechos [4].

En base al marco conceptual planteado, el objetivo de este análisis bibliográfico fue recopilar y tabular información de investigaciones que aprovecharon la fibra del banano para la elaboración de papel en reemplazo a la fibra maderera.



## MATERIALES Y MÉTODOS

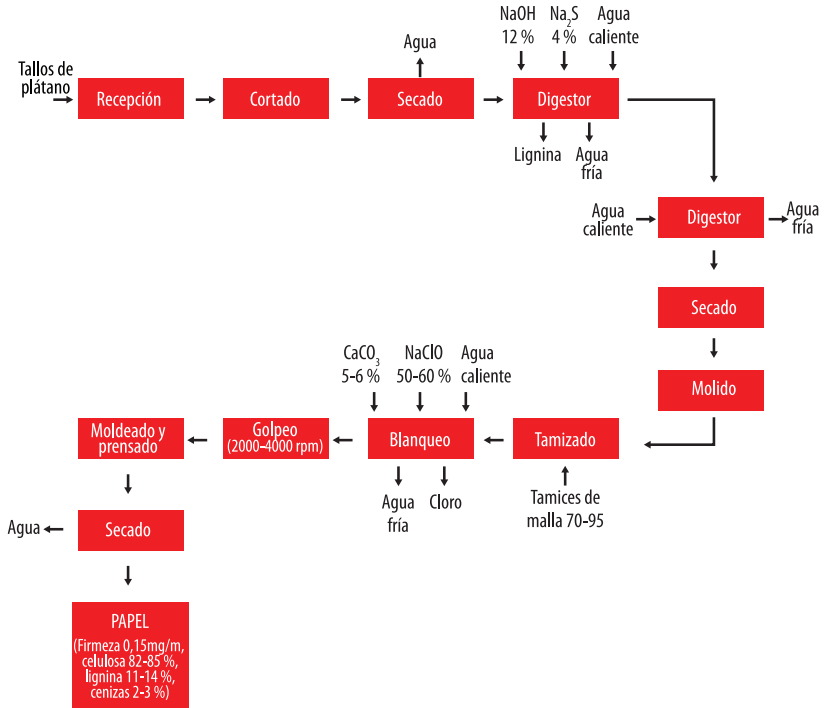
El presente artículo es una revisión bibliográfica de publicaciones que evaluaron el uso de la fibra de *Musa sapientum* para producir papel. Las publicaciones fueron seleccionadas de acuerdo a los siguiente parámetros: autores que elaboraron el papel y utilizaron el proceso Kraft para dicha elaboración.

Inicialmente, se recopiló la siguiente información sobre la calidad del papel: porcentaje de lignina, celulosa, fuerza de tensión, pH y brillo. Estos datos fueron tabulados, analizados y contrastados a fin de inferir conclusiones y realizar recomendaciones para futuros estudios.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El proceso Kraft es el más usado en la fabricación de papel. Cada etapa es de gran importancia (Figura 1). Por ejemplo, de acuerdo con Khan *et al.*, la utilización de hidróxido de sodio y sulfuro de sodio permiten la separación de la lignina de la celulosa, debido a que los aniones hidróxido e hidrosulfuro reaccionan con la lignina, rompiéndola en fragmentos diminutos que son solubles en agua o en una solución alcalina [1]. De igual forma, estudios realizados por Sathish y Kesavan [3] han demostrado que, tanto los químicos empleados como el proceso de fabricación influyen sobre las propiedades térmicas y el comportamiento mecánico del papel final. Esto se corrobora con estudios realizados por Singh *et al.* que determinaron que añadir NaOH al 12%, combinado con una alta presión de saturación, permite una correcta disolución de la lignina, dejando libre a la celulosa y mejorando las propiedades mencionadas. Este proceso, además, ayuda a limpiar las impurezas contenidas en la fibra y aumentar su área de superficie, mejorando su humectabilidad e impregnación en las futuras etapas [6].

Por otro lado, según Vigneswaran *et al.*, la utilización de NaClO mejora el color de la pulpa, ya que está compuesto de cloro en estado de oxidación +1, el cual al ser un oxidante fuerte actúa como blanqueador. Adicionalmente, a través de un proceso de mezclado con alto cizallamiento, el CaCO<sub>3</sub> se impregna en las fibras, lo que produce aumento en la resistencia, suavidad, brillo y limpieza del producto final [2] debido a que se une a compuestos presentes en el papel formando enlaces covalentes que protegen los enlaces fibra-fibra, previniendo la ruptura del papel. Asimismo, se introduce en la fibra, cerrando, rellenando y estabilizando los poros presentes [7]. Con respecto al brillo y limpieza, Wahab analizó que el CaCO<sub>3</sub> brinda este beneficio ya que tiene una estructura romboédrica que permite una mayor reflexión de luz [8]. Finalmente, la etapa de golpeo (2000 a 4000 rev/min) a la que es sometida la pulpa permite aumentar la densidad, flexibilidad y resistencia del papel y disminuye su aspereza [1]. En un estudio realizado por Jansson se evidenció que a mayor cantidad de revoluciones por minuto, se incrementa la dureza del papel debido a que se rompen las paredes celulares de la fibra, generando la proliferación de pedazos de celulosa que se unen entre sí, fomentando la flexibilidad y dureza [12].



**Figura 1.** Proceso de fabricación de papel a partir del tallo del banano

Respecto a las características físico químicas tanto de la fibra como del papel obtenido con ella se pueden observar en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Composición y características físico químicas de diferentes papeles obtenidos con fibra de banano

Tipo de papel	Celulosa de la fibra [%]	Lignina de la fibra [%]	Brillo [%]	pH	Referencia
Papel bond	61.5	14.9	45	5.91	[1]
Papel tipo pañuelo	32.5	15.0	85	7.50	[6]
Papel para envoltura para alimentos	-	-	29	7.95	[5]
Papel Artesanal	82.0	13.0	41	8.50	[9]



La celulosa presente en la fibra es difícil de aislar de manera pura, ya que se encuentra fuertemente ligada con la lignina. Se espera que el contenido de celulosa sea alto, mientras que el de lignina sea bajo, debido a que la última es la principal causante de problemas como la excesiva absorción de agua, hinchazón de la fibra y reducción del rendimiento del refinado de la pulpa [10]. Desde esta perspectiva según la *Tabla 1* el mejor papel sería el artesanal. Sin embargo, dependiendo del tipo de papel, varía la cantidad de celulosa, ya que a mayor cantidad de celulosa, mayor rigidez tiene el papel. Esto coincide con lo encontrado por Robles *et al.*, en donde se evidenció que a mayor cantidad de microfibrillas de celulosa en el papel, se tiene una mayor resistencia a la tensión [11].

Con respecto al brillo, un papel convencional fabricado a base de fibra maderera tiene un brillo entre 0 y 100. Mientras más cercano al número superior, mayor brillo y blancura tendrá el papel. Asimismo, nótese que el brillo se relaciona con el tipo de papel y el tratamiento empleado para su obtención. En este caso, como se puede observar en la *Tabla 1*, el valor más alto para el brillo fue el papel tipo pañuelo realizado por Singh y Bandyopadhyay, donde se indica que el papel obtenido debido al tratamiento empleado con  $\text{CaCO}_3$  es blanco y refleja mucha luz en su superficie [6]. Esto se corrobora con el estudio realizado por Wahab, en donde se explica que el aplicar agentes de relleno como el  $\text{CaCO}_3$  ayudan a mejorar el brillo del producto final debido a su composición química [8]. Por otro lado, el valor más bajo fue el papel para envoltura para alimentos realizado por Kumar *et al.* (*Tabla 1*), en donde se empleó peróxido de hidrógeno para la etapa de blanqueamiento. Este compuesto posee un ácido débil que se descompone fácilmente con el calor y libera oxígeno, el cual actúa como oxidante para blanquear el material. Sin embargo, esta reacción es menos efectiva que la del  $\text{CaCO}_3$ , razón por la cual el papel posee un menor brillo [5].

En relación al pH, un papel de calidad debe mantenerse en un rango de 7,5 a 8. Esto se debe a que la acidez o alcalinidad excesiva en un papel pueden generar cambios poco deseables en el producto final. Un pH ácido, causará una degradación, amarillamiento, pérdida de la resistencia mecánica de las fibras y proliferación de microorganismos en la superficie del papel. De esta manera, para mantener el papel libre de ácidos, se debe desacidificar manual o mecánicamente utilizando compuestos como el bicarbonato de calcio/magnesio o hidróxido de calcio. Al incorporarlos, se evitará a futuro la absorción de ácidos del medioambiente. En un estudio realizado por Jansson se observó que a un pH de 3 se obtiene valores menores de retención de agua, índice de tracción, índice de rigidez a la tracción, índice de compresión e índice de resistencia al aplastamiento de bordes, lo que afecta negativamente la calidad del papel final. Sin embargo, al momento de hacer los análisis en un papel con pH de 4.5-5.6, no se observó ningún cambio significativo sobre los parámetros mecánicos [12]. En relación a la alcalinidad, un estudio realizado por Malesic *et al.*, demostró que pH muy elevados en el papel pueden causar una degradación del mismo a medida que va envejeciendo, siendo las pulpas donde se utilizó bicarbonato de magnesio para desacidificar las más inestables [13].

Asimismo, si la desacidificación no se realiza de manera adecuada y el pH del papel resulta fuertemente alcalino, se produce una reacción llamada  $\beta$ -alcoxieliminación que es la causa principal de la degradación de papeles. Este proceso se basa en una



erosión gradual seguido por una reacción de oxidación que hará al papel susceptible a la degradación en presencia de un pH alcalino. Otra razón por la cual se busca evitar este pH es por la presencia de puntos de rotura y grupos terminales compuestos por ácido glicólico y ésteres de celulosa que son solubles en soluciones alcalinas y estables en pH neutro [14]. Con lo mencionado anteriormente, se puede afirmar que los papeles tipo pañuelo y para envoltura de alimentos (*Tabla 1*) son los mejores en relación a su pH.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En la presente revisión bibliográfica a varios autores y a los métodos empleados por ellos se deduce e/o infiere que:

- El método Kraft es el más utilizado para obtener la celulosa necesaria y retirar la lignina.
- Cada etapa de este proceso es importante en la elaboración de un papel de banano de calidad.
- En relación a los porcentajes adecuados de celulosa y lignina, las fibras obtenidas del papel bond y artesanal cumplirían con las características químicas que permiten tener un material alternativo ideal para la fabricación del papel.
- De las variedades de papel revisadas, la que obtuvo el mayor brillo fue la del tipo pañuelo, debido a los compuestos químicos empleados para su fabricación, v).-con relación al pH, los papeles tipo pañuelo y para envoltura de alimentos cumplirían con los parámetros requeridos. Los demás papeles poseerían un pH muy ácido o básico lo cual puede generar problemas en el producto final.
- Además, todos los autores revisados destacan el potencial de la fibra de banano como alternativa al uso de la fibra maderera para la fabricación de distintos tipos de papel que son utilizados comúnmente, ya que usan el desecho de las plantaciones bananeras, lo cual se alinea con la tendencia actual de utilizar productos que sean amigables con el medio ambiente.
- Finalmente, y por su potencial, se recomienda analizar la factibilidad económica de la producción y comercialización de los diversos tipos de papel a base de fibra de banano.

## CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

## CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran que esta investigación fue conducida en la ausencia de relaciones comerciales o financieras que pudieran constituir un potencial conflicto de interés.

## REFERENCIAS

- [1] Khan, M. Z. H., Sarkar, M. A. R., Al Imam, F. I. & Malinen, R. O. (2014). Paper making from banana pseudostem: Characterization and comparison. *Journal of natural fibers*, 11(3), 199–211. doi: <http://doi.org/10.1080/15440478.2013.874962>
- [2] Vigneswaran, C., Pavithra, V., Gayathri V. & Mythili, K. (2015). Banana fiber: Scope and Value-Added Product Development. *Journal of textile and apparel, technology and management*, 9(2), 1–7. Recuperado de <https://ojs.cnr.ncsu.edu/index.php/JTATM/article/view/6825/3586>
- [3] Sathish, P. & Kesavan, R. (2015). Banana Fibre Reinforced Composites: A Review. *International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology*, 2(10), 872–874.
- [4] Cortez, A. (2014). *Elaboración de papel a base de residuos de banano* (Tesis de Ingeniero en Comercio y Finanzas). Universidad Católica de Santiago de Guayaquil. Guayaquil. Recuperado de <http://repositorio.ucsq.edu.ec/handle/3317/1706>
- [5] Widiastuti, A., & Elfi, S. (2018). Natural wrapping paper from banana (*Musa paradisiaca* Linn) peel waste with additive essential oils. *Journal of Physics: Conference Series*. doi: <http://doi.org/10.1088/1742-6596/1022/1/012032>
- [6] Singh, L., & Bandyopadhyay, T. K. (2013). Handmade paper from banana stem. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 4(7), 2074–2079. Recuperado de <https://www.ijser.org/paper/Handmade-paper-from-banana-stem.html>
- [7] Francisco, M. J. (2015). Evaluación de la resistencia a la absorción de agua, ataque de termitas *Nasutitermes corniger* y propiedades mecánicas de un material lignocelulósico. Recuperado de [https://cicy.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1003/415/1/PCM\\_M\\_Tesis\\_2015\\_Milton\\_Jimenez.pdf](https://cicy.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1003/415/1/PCM_M_Tesis_2015_Milton_Jimenez.pdf)
- [8] Wahab, G.H. (2018). Characterizations of El Minia limestone for manufacturing paper filler and coating. *Egyptian Journal of Petroleum*, 27(4), 437-443. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejpe.2017.07.007>
- [9] Kumar, A., Singh, B., Jain, R., & Sharma, A. (2013). Banana Fibre (*Musa sapientum*): A Suitable Raw Material for Handmade Paper Industry via Enzymatic Refining. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, 2(10), 1338 –1350. Recuperado de [www.ijert.org](http://www.ijert.org)
- [10] Mogollón, G., García, J., & León, W. (2008). Materias primas fibrosas. En G. Mogollón, J. García, & W. León, *Panorama de la industria de celulosa y papel en la Iberoamérica 2008* (págs. 16-26). Innovación Digital.
- [11] Obst, J. (1990). Lignins: Structure and Distribution in wood and pulp. *Materials Research Society Symposium*, 11-20.
- [12] Jansson, J. (2015). *The influence of pH on fiber and paper properties* (Tesis de posgrado para la obtención de Máster). Digitala Vetenskapliga Arkivet. Recuperado de <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:823180/FULLTEXT01.pdf>
- [13] Malesic, J., Kolar, J., & Strlič, M. (2002). Effect of pH and carbonyls on the degradation of alkaline paper factors affecting aging of alkaline paper. *Restaurator. International Journal for the Preservation of Library and Archival Material*, 23(3), 145-153. DOI: <https://doi.org/10.1515/REST.2002.145>
- [14] Lera Santín, A. (2011). *Aplicaciones enzimáticas en procesos de conservación y restauración de obras de arte. Consolidación de celulosa*. Servicio Editorial de la Universidad del País Vasco/Erandio, España. [ibit.ly/68g7](http://ibit.ly/68g7)



## Recent advances in residual biomass conversion into bioenergy and value-added products: A review of the Ecuadorian situation

Sebastian Ponce<sup>1</sup>, Jose Alvarez-Barreto<sup>1</sup>, Daniela Almeida<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Chemical Engineering, Institute for Development of Alternative Energies and Materials IDEMA, Universidad San Francisco de Quito USFQ, Diego de Robles s/n y Av. Interoceánica, Quito D.M. 170157, Ecuador

\*Autor para correspondencia/ Corresponding author: [dalmeida@usfq.edu.ec](mailto:dalmeida@usfq.edu.ec)

## Últimos avances en la conversión de biomasa residual en energía y productos con valor agregado: Revisión de la situación ecuatoriana

### Resumen

La biomasa residual es una materia prima clave para la producción de calor y electricidad, biocombustibles y productos químicos. Con base a los resultados reportados en la literatura, Ecuador, al ser una economía basada en la agricultura, tiene el potencial de satisfacer sus demandas energéticas cumpliendo con las regulaciones ambientales, mediante la conversión de biomasa residual autogenerada. En las últimas décadas, se han modelado y estudiado ampliamente métodos biológicos, químicos y termoquímicos convencionales a escala de laboratorio para la producción de biogás, bioetanol y otros combustibles sólidos y líquidos. Los cuales pueden convertirse en la piedra base para el desarrollo de aplicaciones a mayor escala. Además, estudios recientes, han mostrado también el desarrollo de nuevos procesos para la conversión de residuos de biomasa ecuatoriana en productos de valor agregado, tales como materiales porosos para tratamiento biomédico y de aguas residuales, producción de hidrógeno, entre otros. Esto, en general, proporciona un ciclo de revalorización de las corrientes de residuos actuales, reduciendo el problema del tratamiento y eliminación de residuos, con el objetivo de introducir productos para el desarrollo de una bioeconomía local sostenible.

**Palabras clave:** Biomasa ecuatoriana, biomasa residual, agroindustria, bioenergía

### Abstract

Residual biomass is a key feedstock for the production of heat and electricity, biofuels, and green chemicals. Based on results reported in the literature, Ecuador, an agriculture-based economy, has the potential of meeting its energy demands while satisfying environmental regulations, by the conversion of self-generated residual biomass. Conventional biological, chemical and thermochemical methods have been modeled and widely studied at laboratory scale for the production of biogas, bioethanol, and other solid and liquid fuels. Based on that, they could become a milestone for upcoming scaled-up applications. Moreover, recent studies, have also shown the development of



Licencia Creative Commons  
Atribución-NoComercial 4.0



Editado por /  
Edited by:  
Juan Sebastián  
Proaño Avilés

Recibido /  
Received:  
10/08/2020

Aceptado /  
Accepted:  
05/11/2020

Publicado en línea /  
Published online:  
31/08/2021



new processes for the conversion of Ecuadorian biomass residues into value-added products for future applications, such as porous materials for biomedical and waste water treatment, hydrogen production, among others. This, in general, provides a revalorization cycle of current waste streams, reducing the problem of waste treatment and disposal, and aiming to introduce bio-based products for the development of a local sustainable bio-economy.

**Keywords:** Ecuadorian biomass, biomass residues, agroindustry, bioenergy

---

## INTRODUCTION

Fossil fuels, such as crude oil, coal and gas remain the major sources for world energy supply. Proven reserve projections show that fossil sources would certainly expire, considering the current growing consumption rate [1-3]. Thus, the existing energy supply system appears unsustainable not only due to reserves depletion, but also implementation of more rigorous mandatory environmental regulations [4; 5]. Thus, driving worldwide research efforts into renewable sources of energy for gradually replacing fossil fuels [6]. Among other alternatives, biomass used for bioenergy production is a potential candidate for partially meeting the energy demand and reaching the net zero CO<sub>2</sub> emissions to the atmosphere [7]. However, bioenergy from first generation biomass, also used as a food source, at industrial production might accelerate deforestation and desertification, trigger possible water privation, and would considerably increase food prices [8; 9]. Thus, biomass residues, known as second generation biomass, which also include those available at farms, released in the agro-food industry, and those remaining after product use, have grown in importance for bioenergy production. Some developed countries have already established systems to use millions of tons of organic wastes from agricultural, municipal, and industrial processes [10; 11]. Meanwhile, emerging nations have not shown the same degree of development. It is estimated that about 45% of waste generated in Latin-America ends up in open-air dumps or watercourses [12-14].

In particular, Ecuador, as many other countries in Latin-American, has an agriculture-based economy. Its geographical location provides multiple micro-climates from tropical to cold, allowing a large diversity of agricultural products. Thus, residues from agriculture, livestock farming and forestry represent important amounts of biomass. Accordingly, rice, banana, cocoa, coffee, sugarcane, maize, palm oil, plantain, pineapple, and palm heart crops represent the 84% of the total Ecuadorian agricultural production, generating about 79% of the total permanent biomass residues [15; 16]. As depicted in Figure 1, biomass residues are mainly concentrated in 5 Provinces (El Oro, Esmeraldas, Guayas, Santo Domingo) with high residue location density of approx. 200 ton km<sup>-2</sup> year<sup>-1</sup>, and Los Ríos generating as much as 700 ton km<sup>-2</sup> year<sup>-1</sup>. Ecuador's potential for producing bioethanol, biodiesel, biogas or other energy carriers from biomass has been widely demonstrated. Being enough to drive the country towards the implementation of a future circular economy [17-21]. For instance, just the Ecuadorian palm oil sector generates nearly of 6.8 × 10<sup>6</sup> tons year<sup>-1</sup> of residual biomass, which include, mesocarp fibers (3.1 × 10<sup>8</sup> kg year<sup>-1</sup>), kernel shells



(KS) ( $1.2 \times 10^8$  kg year<sup>-1</sup>), empty fruit bunches ( $5 \times 10^8$  kg year<sup>-1</sup>), and field waste ( $5.9 \times 10^9$  kg year<sup>-1</sup>) [16; 22]. (For a complete report about the Ecuadorian biomass production and potential, please refer to [16]). Even though most of the residual biomass could be used as value-added feedstock, bio-based chemical precursors or renewable energy sources, most of these residues remains underutilized. This waste can also contribute to contaminate soils and water source and the generation of greenhouse gas (GHG) emissions, due to uncontrolled degradation. As listed in Figure 2, there are several causes for biomass underutilization, according to several authors [23-25].

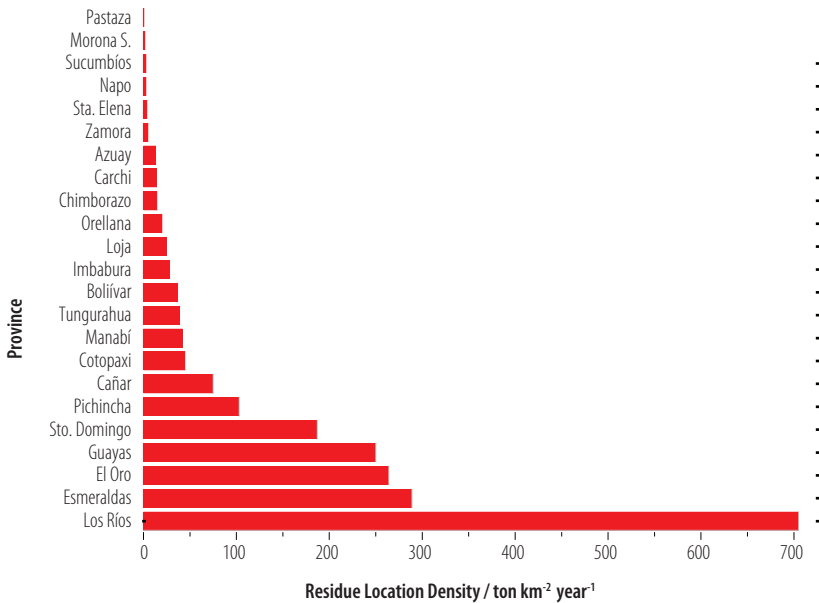


Figure 1. Ecuadorian biomass residues produced per location. Data from [15]

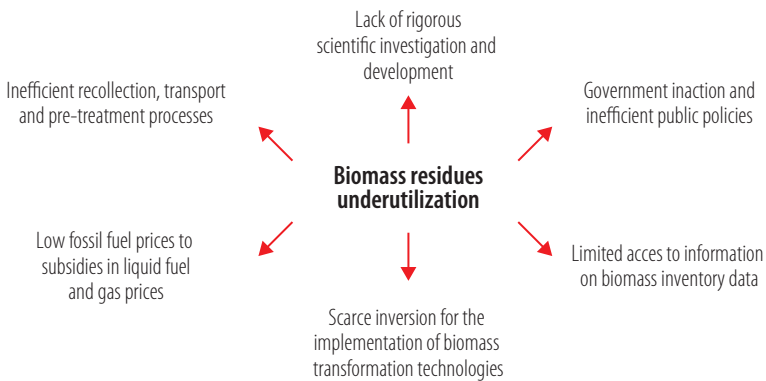
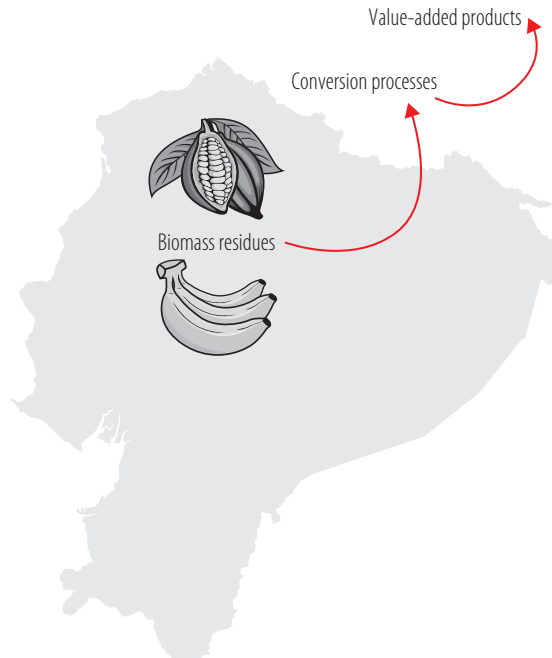


Figure 2. Major causes for biomass underutilization, according to several authors [23-25].

As already mentioned, in Ecuador, the management and use of biomass for bioenergy production is still limited [26]. For example, a recent study showed that the application of thermo-chemical processes (e.g. direct combustion, gasification coupled with gas turbine, pyrolysis, among others), just using banana residues, could provide around of 650 GWh of energy [27]. However, by 2018, sugarcane bagasse, residues from oil palm processing, and residues from the wood industry, contributed only to 1.8% ( $\approx 400$  GWh) of the total nation's electricity generation via co-generation systems [28-31]. Other initiatives, for producing ethanol, biogas, and biodiesel from sugarcane, pineapple, naranjilla (*Solanum quitoense*), and palm and *Jatropha* (*Jatropha curcas*) oil mills, respectively, have been developed without a considerable representation on the energy system [32-34]. Altogether, there are still scarce studies not only for bioenergy generation, but also for creating products with value-added applications.

Therefore, this contribution aims to review (see scheme in Figure 3), recent studies concerning not only the biological (anaerobic digestion, alcoholic fermentation), and thermochemical combustion, gasification and pyrolysis) conversion of Ecuadorian residual biomass, but also the new approaches for producing value-added products for future applications. Searches were performed in a database and a search engine, such as Elsevier and Google Scholar, respectively. Eight search items were developed based on the scope of this study (e.g. "residual or recovered biomass AND Ecuador AND anaerobic digestion"). To be included, the papers had to meet a set of eligibility criteria: i) studies must have used Ecuadorian biomass, and should have been published in the last decade.

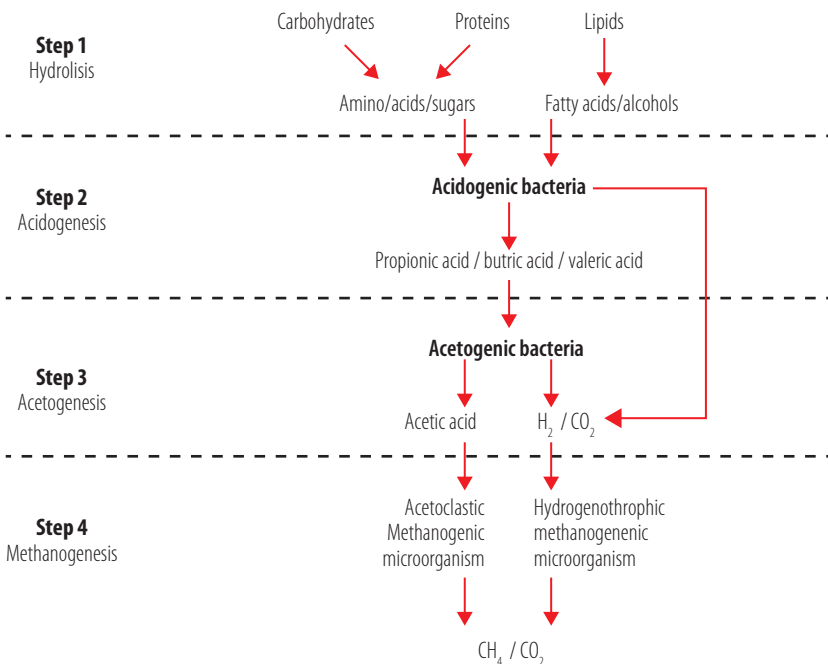


**Figure 3.** Schematic representation of the methodology followed in the short-review.

## BIOLOGICAL CONVERSION

### Anaerobic digestion

Biogas might be the most promising renewable source for addressing global energy demands and providing environmental benefits. It is a mixture of mainly methane and carbon dioxide  $\text{CO}_2$  that can be produced by anaerobic digestion (AD), which involves: i) microorganism hydroxylation of organic material into sugars, monoacids, and fatty acids under anaerobic conditions (step 1 in Figure 4), and ii) fermentation of hydrolytic products into a gas effluent (steps 2-4 in Figure 4). Benefits such as low sludge production, simple technology application and low energy consumption, make AD an efficient technology for the treatment of organic waste [35; 36]. In the Ecuadorian scenario, biological conversion can be by far, the most studied process for energy generation; however, its application has been delayed due to low-cost traditional technologies (i.e. hydroelectric power), and lack of research and economic incentives [21; 37; 38], among others.



**Figure 4.** Biological degradation steps in anaerobic digestion. Based on [51].

Lately, some efforts have been done to show the potential of anaerobic mono-and co-digestion of the organic fraction of municipal solid waste (MSW) (sediments and fruit and vegetable wastes from markets) [39-42], manure residues (e.g. bovine, pig, hen, sheep excrements) [43-46], and biomass recovered from agro-industrial wastes (blackberries, avocado, soybeans, sugarcane, cocoa, plantain, banana, among many



others) [47-50]. MSW and manure residues have been commonly studied in co-digestion processes at lab-scale reactor designs, aiming to be milestones for the design and implementation of pilot-scale prototypes for energy generation in cities and small farms. Even though co-digestion shows higher biogas yield and selectivity into methane production compared with mono-digestion, further investigation is still required to understand how AD process parameters could influence the overall methane production, necessary for scaling-up projects.

In this sense, studies of mono-digestion have given insights to better understand AD process of Ecuadorian agro-industrial wastes. Almeida-Streitweiser [51] developed a complete kinetic investigation for understanding the dependency of variables, such as feed composition, fed load rate, residence time and process temperature of the rate of biomass degradation. Applying a simplified power law model, a mean reaction order of 3.7 was obtained. Interestingly, it was demonstrated that there was a different rate determining step if the system works at mesophilic (20-40 °C) or thermophilic (50-60 °C) temperatures, respectively, due to shifts in the activation energies. Furthermore, it was shown that a different biological degradation mechanism (acetoclastic or hydrogenotrophic methanogenesis) governed the process, depending on the reaction temperature (see step 4 in Figure 4). In a later study, Almeida-Streitwieser and Cadena Cabezas [47], further showed the dependence of biomass composition (sugar, lipid, protein and fiber content) in relation to biogas production and quality. The highest biogas production was observed for biomass with higher protein content (soybean feedstock), while highest methane content was related to bigger amounts of fiber in the structure (sugarcane bagasse substrate). That study also showed the correlation between pH value and volatile fatty acid concentration of the reactive mixture with the biogas production and composition. Similarly, Acosta *et.al* [48], showed that cocoa residues, which are rich in lignin but lack of essential nutrients, could struggle to maintain the methane production (conversions up to 50% with a 60% methane content) and a balanced pH in long-term reactions. Thus, cocoa residues might need special pretreatments and the application of co-digestion methods with nutrient-rich co-substrates in order to optimize energy production and enhance its application. Finally, biomass storage incidence, before AD, using *Jatropha* seed cake as feedstock, have been addressed by Gavilanes *et al* [49]. They showed that different times of biomass storage with water could control the amount of biogas and its quality. *Jatropha* cake stored for 18 months revealed to be more efficient than a cake stored for 6 months for biogas production, but with a lower selectivity towards CH<sub>4</sub>.

## Alcoholic fermentation

Globally, nearly of 50% of total energy demand is consumed in the form of liquid fuels. Thus, bioethanol production has been identified as a viable short-term solution to reduce crude oil consumption and environmental pollution, as it can be used in low blends with gasoline without engine modification. Among other methods, bioethanol can be produced primarily from fermentation processes of biomass from agricultural and forestry residues with high sugar or starch contents [52; 53]. In Ecuador, residual biomasses like banana, *Jatropha curcas*, Andean tubers, sugarcane bagasse, pruning waste (e.g. from *Ficus benjamina*, *Euphorbia laurifolia*), and others



have been lately successfully studied as feedstocks for bioethanol production [54-62]. For a complete overview of research and perspectives for second generation ethanol production from Ecuador residual biomass in earlier years, please refer to the work of Carvajal *et al.* [63]

Lately, some studies have assessed the potential of second generation ethanol from banana wastes [54; 55]. In the first approach, theoretical calculations were developed to estimate the conversion efficiency. Banana residues from different sources located at 440 m asl (medium-size organic banana farms) and 26 m asl (small-scale banana producers) yielded a net-energy balance of 17.1 and 7.2 MJ l<sup>-1</sup>, avoiding carbon emissions of about 0.44 and 0.34 kg l<sup>-1</sup>, respectively. These results, showed the effect of cropping at different altitudes over bioethanol generation. It has also been identified that bioethanol production from sugarcane represent a huge opportunity of development for small communities in the rural area. Velazquez-Martí *et. al* [56] developed a complete model to predict performance and product quality of production of bioethanol based on Brix grades during the bio-fermentation of cane juice with *Saccharomyces cerevisiae*. According to the authors, this prediction method could importantly reduce costs compared to common methods of control, as it is not sensor based, making the process affordable in economically depressed areas.

On the experimental side, a few studies have addressed the benefits of applying different biomass pre-treatments and biomass conversion methodologies (see summary in Table 1). Bonilla *et al.* [57], addressed a complete kinetic study for the successfully production of bioethanol (7% v/v yield) from ripe banana peels, which were discarded from the production lines of the company Diana Food S.A. in El Oro province. The kinetic study showed the positive effect of adding polyethylene glycol for degrading the inhibiting compounds present during the enzymatic (conidia of the *Trichoderma viride* fungus) hydrolysis of the substrate, before alcoholic fermentation with a commercial active dry yeast (*Saccharomyces cerevisiae*). Moreover, Costa *et al.* [58] have shown eight different chemical pretreatments for lignin degradation as alternative of physical-mechanical methods, before enzymatic saccharification of rachis from banana cultivated and collected in Guayas province. Above others, hypochlorous acid showed to be the most effective agent for lignin removal; thus, obtaining the most promising cellulose-to-glucose conversions. Portero-Barahona *et al.* [59] have also shown a combined pretreatment using sulfonate, TiO<sub>2</sub> and alkali microwave irradiation for lignin degradation prior enzymatic saccharification of sugarcane bagasse obtained from a sugar production company in Imbabura. Pretreated feedstock showed an increase of the total reducing sugars and saccharinic acid production in about 5 and 33% compared to just microwave irradiation in water, respectively. Nevertheless, this process might present cost and environmental problems when used industrially. Finally, a complete study comparing the bioethanol production potential of starches from three Andean tubers (*Solanum tuberosum*, *Manihot esculenta*, *Ipomea batatas*) has been recently released. That study showed that the starch source does not affect significantly the amount of sugars obtained after the enzymatic digestion process; thus, it does not affect the bioethanol production during fermentation. Interestingly, the simultaneous saccharification/fermentation process proved to be a more suitable process for ethanol production compared to sequential saccharification and fermentation [62].

**Table 1.** Summary of bioethanol production studies from residual biomass applications.

Biomass	Source/ location	Special treatment	Enzyme	Highlights	Ref.
Banana peels (Cavendish variety)	Diana Food S.A./El Oro	Polyethylene glycol inhibitor prior enzymatic hydrolysis	<i>Trichoderma viride</i> Conidia	7% v/v bioethanol yield	[57]
Rachis from banana plants ( <i>Musa paradisiaca</i> var. <i>barraganete</i> )	Guayas	Chemical pretreatment for lignin degradation (e.g. sodium hypochlorite, hypochlorous acid, hydrogen peroxide, alkaline hydrogen peroxide, and combinations)	Cellulase and beta-glucosidase	> 80% delignification yield	[58]
Sugarcane bagasse	Ingenio azucarero del Norte/ Imbabura	Sulfolane, TiO <sub>2</sub> and alkali microwave irradiation prior enzymatic saccharification		15.24 g L <sup>-1</sup> production of saccharine acids	[59]
Potato ( <i>Solanum tuberosum</i> ), cassava ( <i>Manihot esculenta</i> ), and sweet potato ( <i>Ipomea batatas</i> )	-	-	<i>S. cerevisiae</i>	> 90% Ethanol Yield for sweet potato in a simultaneous saccharification-fermentation process	[62]

## THERMOCHEMICAL TRANSFORMATIONS

Thermochemical transformations can be applied to any type of biomass, including agricultural and forestry residues, by-products from the food industry, organic municipal wastes, etc. Thermochemical conversion technologies mainly include combustion, gasification and pyrolysis. During combustion, biomass (organic material) is burnt in excess air to produce heat. It is the easiest and most proven technology for power generation. However gasification, its overall heat to power efficiency is low. Gasification, on the other hand, usually occurs at high-temperature environments in the presence of oxygen or other oxidants, such as carbon dioxide or steam. It has many advantages over combustion, as it can use low-value feedstocks and convert them into electricity and transportation fuels (e.g. syngas) [64; 65]. Lastly, pyrolysis enables the production of liquid, gaseous, and solid fractions (e.g. bio-oil, pyrolysis gas, biochar) by adding heat to the feedstock in absence of oxygen. Depending on the pyrolysis and the technology applied, high thermal efficiency and low NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub> emissions can be obtained [66-68].





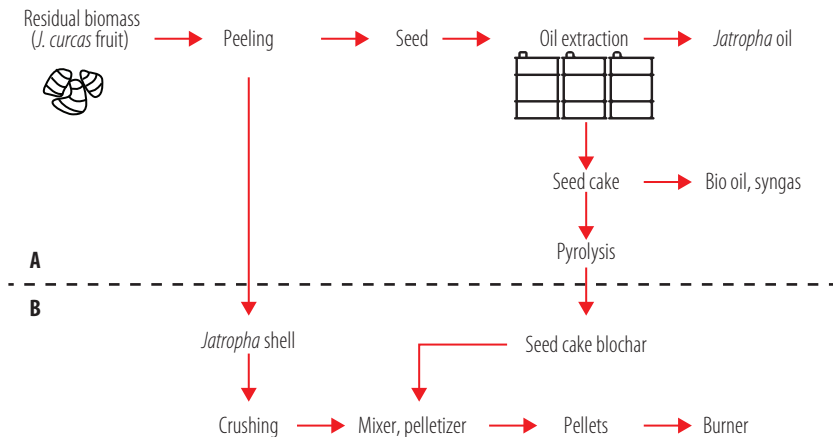
This contribution has identified several works addressing the potential of thermochemical transformations over different types of residual biomasses, such as avocado, carob (*Ceratonia siliqua*), mango, neem, bananas, teak pruning, and mannan-rich ivory nuts (for more information please refer to [69-71]). However, *Jatropha curcas* (see Table 2), and palm oil residues have received more attention. On the one hand, *Jatropha curcas* seed cake (JCSC) (i.e. residue from *Jatropha curcas* fruit oil extraction process) has been assessed as an interesting option for energy production (see process at Fig. 5a). In an early study, the obtained results from the microwave pyrolysis of JCSC indicated that the remaining organic liquid substances (bio-oil), the solid products (biochar), and the gaseous fraction are still potential energy sources that can be exploited. For instance, the liquid effluents (gross calorific value  $\approx$ ) showed a maximum content of potential liquid fuel substances of around 75 %. In particular, this bio-oil might be considered as a source of liquid fuel for Otto-cycle engines. Nevertheless, it might need a distillation process to isolate the potential liquid fuels from water formed during pyrolysis, revealed by low gross calorific ( $3.37 \text{ MJ kg}^{-1}$ ) and bulk density values ( $1.09 \text{ kg m}^{-3}$ ). Moreover, the solid product revealed a high gross calorific value close to  $28.30 \text{ MJ kg}^{-1}$  that could be further applied for energy generation by combustion [33].

**Table 2.** Summary of *Jatropha curcas* residual biomass applications.

Biomass	Special treatment	Biomass Calorific value ( $\text{MJ kg}^{-1}$ )	Use	Products	Reference
<i>Jatropha curcas</i> seed cake	-	18.62	Microwave pyrolysis	Bio-oil	[33]
<i>Jatropha curcas</i> seed cake	-			Biochar	
<i>Jatropha curcas</i>	Pelletized with wood chips	19.96	Combustion	Gas effluent ( $\text{CO}$ , $\text{CO}_2$ , $\text{O}_2$ , Hydrocarbons)	[72]
<i>Jatropha curcas</i> seed cake	Pelletized with peel of <i>Jatropha curcas</i> shell	22.14	Combustion	Gas effluent	[73]
<i>Jatropha curcas</i>	Pelletized with pruning residues	-	Combustion	Gas effluent	[74]

In this sense, Rivadeneira *et al.* have pioneered the use of biochar pellets from residual biomass as combustion fuel [72; 73]. In a first approach, pellets from *Jatropha curcas* combined with wood chips (25-75 wt%; calorific value  $\approx 20 \text{ MJ kg}^{-1}$ ) were successfully tested in a small prototype horizontal burner (60 kWh) coupled to a combustion chamber. However, further investigation is needed, as CO emissions were relatively high compared to those observed during combustion of other types of biomasses in the

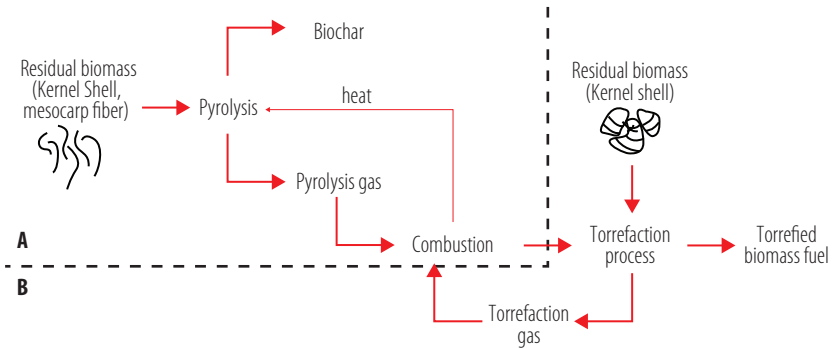
same equipment (2.34 and 0.019 vol%, respectively). Seed cake biochar (SCB), which was obtained by the pyrolyzed residues resulting from *Jatropha* nut oil was combined with the peel of the fruit of the same plant (*Jatropha* shell (JSh)) to form pellets (see complete process in Figure 5 a and b). Those pellets were also tested in a semi-industrial continuous burner with a horizontal combustion chamber. Pellets of 4 mm particle size composed of equal amounts of JSh and SCB showed the greatest mechanical stability and higher heating values ( $\approx 22.14 \text{ MJ kg}^{-1}$ ). An economic assessment for the most successful solids stated the commercial viability of this type of biochar. Their energy cost (around  $0.005 \text{ USD MJ}^{-1}$ ) represented just one third of the energy cost if using LPG for energy generation. However, according to Heredia-Salgado *et al.* [74], the above mentioned pellets suffered from high ash concentration content during combustion, which promoted instabilities on the flame and extinction of the combustion process within 14 minutes. Thus, in this recent publication, the authors studied a 25 wt % *Jatropha curcas* pellets with 75 wt % of pruning residues as more efficient fuel, which showed a stable flame and a sustained combustion process ( $> 60 \text{ min}$ ). Even though, the positive results, further investigation (e.g. biomass pre-treatment, better burn equipment) is still needed to improve the combustion process, and reduce the related CO emissions.



**Figure 5.** Biomass residue valorization scheme from a *Jatropha* oil extraction plant. a) Common process of pyrolysis of *Jatropha curcas* fruit residues, and b) further physical treatment (pelletization) for energy production via combustion. Based on [73].

On the other side, the technical and economical utilization of Palm oil kernel shell (KS) biomass residues as solid fuels for energy purposes have also been widely addressed [22; 75]. Accordingly, it was demonstrated that the replacement of diesel by untreated KS would reduce in eight times the fuel cost of a thermal energy production in a burner, with CO gas emissions below the limits established by European standards ( $260.1$  and  $500 \text{ mg N}^{-1} \text{ m}^{-3}$ , respectively). Moreover, if the right tax policies (e.g. non subsidies for diesel) and incentives for renewable production were implemented, associated production infrastructure would be recovered in four years. Palm oil KS biomass residues have been also studied as feedstock to produce both thermal energy and biochar (see Fig. 6a) [76]. An auto-thermal prototype modular auger reactor (i.e. neither diesel nor natural gas was used for initial heating) was used to produce macro-porous biochars with pore radius

between 0.42 to 12.48  $\mu\text{m}$  and ash with potential soil nutrients, such as silica, potassium, and phosphorous. Recently, KS residues have been also valorized together with mesocarp fiber, which are the most abundant residues on palm oil mill plants, in a complex pyrolysis and torrefaction combined process (see Figure 6 a and b) to produce biochar and torrefied fuel [77]. It was observed that the integrated process starts to be auto-thermal at 460 °C with an average energy efficiency of 60%. Thus, the pyrolysis and torrefaction process could represent an alternative to valorize residual biomass in the palm oil sector.



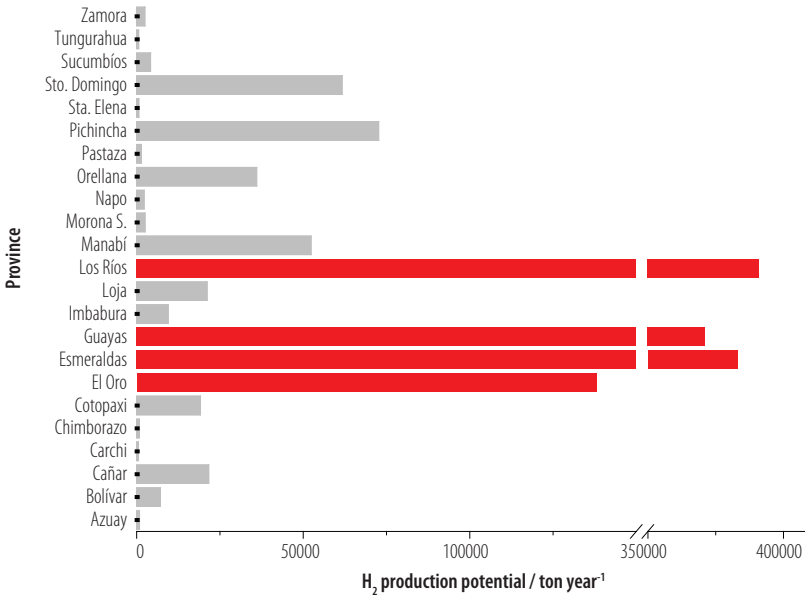
**Figure 6.** Scheme of a combined pyrolysis and torrefaction process for valorizing mesocarp fibers and kernel shell residues from a palm-oil small mill. Based on [77].

## VALUE-ADDED PRODUCTS AND FUTURE APPLICATIONS

### Hydrogen production

In the near future, it is expected that energy supply will be satisfied by regions with high potential for renewable generation. For instance, many research groups have shown the technical and economic feasibility of importing energy from Northern Africa to Europe [4; 78], taking advantage of the already installed fossil fuel infrastructure (e.g. ships, pipelines, gas stations) for transporting and commercializing the so-called liquid organic hydrogen carriers. Hence, the worldwide hydrogen e-fuel synthesis and use appears as the most probable solution for meeting local and global energy demands [79]. Even though no experimental methods for hydrogen synthesis could be found during the present review, a few publications have shown the Ecuadorian potential for hydrogen synthesis and energy generation from residues. According to Posso *et al.*, municipal solid waste-derived hydrogen generation could follow two paths: i) gasification combined with steam reforming, and ii) gasification combined with electrolysis. According to the authors, being the first method the most effective, with a theoretical national production of  $\text{H}_2$  of 265,056 tons year<sup>-1</sup>. They estimated that MSW-derived  $\text{H}_2$  could satisfy public transportation energy demand in 91% of the country. In fact, the three largest urban centers (Guayas, Pichincha, Azuay), which produce around 57% of the total national MSW, could easily replace their local urban transportation diesel demand [80; 81]. In a later publication, Posso *et al.* [15] evaluated Ecuador's residual biomass sources as raw material for hydrogen production, highlighting its uses not only as energy vector, but also as input in manufacturing processes (e.g. oil refining, fat hydrogenation and urea

production). The total amount of possible H<sub>2</sub> production was calculated in approx. 1.6 x 10<sup>6</sup> tons year<sup>-1</sup> (see Figure 7), applying different conversion paths, such as gasification, combustion & electrolysis, and bio-methanization and reforming, which represented 38% of the national demand in 2017.



**Figure 7.** Hydrogen production potential from Ecuadorian biomass residues produced per location. Data from [15].

## Porous materials

Porous materials have always attracted the scientific and industrial interest due to their ability to interact with atoms, ions, and molecules. Their performance on a particular application (e.g. ion exchange, adsorption (separation), catalysis) depends, to a great extent, on porosity, pore size and pore size distribution, specific surface area, and pore morphology [82]. Thus, the complete characterization and test methods used are extremely important. This work has found some scientific reports concerning the use of residual and yeast biomass as adsorbents for waste water remediation, and scaffolds for potential biomedical applications.

## Wastewater remediation

Bioadsorbents from different biological sources have been investigated for removing heavy metals (see Table 3), such as lead, copper, chromium, which commonly end up in rivers, lakes and seas from industrial wastes. Campaña-Pérez *et al.* [83], reported the adsorption efficiency of three native yeasts for Cr(IV) from simulated wastewater. *Kazachstania yasuniensis*, *Kodamaea transpacifica*, and *Saturnispora quitensis* were isolated from soil samples collected in the Yasuní National Park, ephemeral flower samples from Isabela Island (Galápagos Islands), and fruit of an unidentified species of bramble from Maquipucuna forest reserve in Pichincha, respectively. The use of



a cationic surfactant (solution of benzalconium chloride) for yeast conditioning duplicated the biosorption capacity above 80% for Cr(IV) concentrations up to 100 mg L<sup>-1</sup>. For instance, the most efficient yeasts *Kodamaea transpacifica*, and *Saturnispora quitensis* showed biosorption capacities of about 416 and 476 mg Cr(IV) per gram of yeast, and specific surface areas, as high as, 1474.30 and 1588.27 m<sup>2</sup> L<sup>-1</sup>, respectively. These values have shown the potential of the two isolates as low cost bioremediation agents. Andean Sacha inchi (*Plukenetia volubilis*) shell biomass (SISB), without any special treatment, has also been reported as a biosorbent for the removal of lead and copper from aqueous solutions. SISB showed adsorption capacities around 17 and 10 mg g<sup>-1</sup> for Pb<sup>+2</sup> and Cu<sup>+2</sup>, respectively. Competitive values compared to other low cost bioadsorbents reported in literature [84]. Electrostatic attraction was stated as the mechanism of adsorption between the negatively SIBS surface, and the positively charged contaminants, being optimal at pHs between 3.0 and 6.0. Gallardo-Rodríguez *et al.* [85] studied bacterial biomass (*Pseudomonas* strains from aquaculture plants in the Ecuadorian Andes) inoculated on a biofilter packed with *Furcraea andina* fibers for removing Pb<sup>2+</sup> ions. Samples with the bacteria supported on *Furcraea andina* fibers showed the maximum adsorption capacity of 48.75 mg g<sup>-1</sup> at pH of 7. Interestingly, equilibrium batch biosorption assays revealed chemisorption as the Pb<sup>+2</sup> removal mechanism.

**Table 3.** Summary of adsorption characteristics of different biomasses for wastewater remediation.

Biomass	Special treatment	Removed contaminant	Removal mechanism	Specific surface area (m <sup>2</sup> L <sup>-1</sup> )	Max. Adsorption capacity (mg mg <sup>-1</sup> )	Ref.
<i>Kazachstania yasuniensis</i>	Pretreated with a cationic surfactant (solution of benzalconium chloride)	Cr(IV)	Biosorption	1192.67	114.94	[83]
<i>Kodamaea transpacifica</i>				1588.27	476.19	
<i>Saturnispora quitensis</i>				1474.3	416.67	
Sacha inchi shell	-	Pb <sup>+2</sup>		-	17.06	[84]
	-	Cu <sup>+2</sup>		-	9.69	
<i>Furcraea andina</i> fibers	Bacteria biofilm	Pb <sup>+2</sup>		-	48.75	[85]
Sadwust from pine trees	-	Heavy metals	Biosorption, flocculation, coagulation	-	-	[86]
Sugarcane bagasse	-			-	-	
Coconut coir	-			-	Al <sup>+3</sup> :41 Pb <sup>+2</sup> : 0.73 Cu <sup>+2</sup> :1.35 Cr <sup>+2</sup> : 0.22	

Biomass	Special treatment	Removed contaminant	Removal mechanism	Specific surface area (m <sup>2</sup> L <sup>-1</sup> )	Max. Adsorption capacity (mg mg <sup>-1</sup> )	Ref.
Sugarcane bagasse particles	-	Pb <sup>+2</sup>	Biosorption	-	0.094	[87]
	-	Cd <sup>+2</sup>		-	0.11	
Starch from plantain peels	Please refer to the reference	Heavy metals and particles	Flocculation	-	-	[88]
Pectin from orange peels				-	-	
Tamarind seed				-	-	
Palm shell	-	Organic compounds	Adsorption		5.63	[89]
Sawdust					32.78	

Moreover, sugarcane bagasse, sawdust from pine trees, and coconut particles (< 1mm particle size) without chemical modification were also applied for bioadsorption of heavy metals in wastewaters. According to Banchon *et al.* [86], heavy metals were removed up to 97.8% due to coagulation-flocculation processes were boosted by bioadsorption and ionic strength, reducing the consumption of chemicals (e.g. aluminum and polyacrylamide) up to 70%. In a later study, sugarcane bagasse particles packed in fixed bed columns have been also studied for the biosorption of lead and cadmium [87]. According to the authors, the adsorbents showed greater adsorption capacity for Pb<sup>+2</sup> than Cd<sup>2+</sup>, probably due to its higher electronegativity and smaller hydrated ionic radii. Nonetheless, this capacity was affected when the two contaminants were present in the aqueous media, showing a possible competition between the two ions for active sites at the adsorber. Natural organic polymers extracted from residues, such as starch from plantain peels (*Musa paradisiaca* L), pectin from orange peels, and tamarind seed extract showed, together with aluminum sulfate, equal or better characteristics as flocculants compared to commercial polymer PAM. Removal values of turbidity and color were around 87% and 92%, respectively, while pH adjustment was not necessary. However, the materials did not present any coagulant activity, and in economic terms, they seem not to be viable [88]. Concerning other contaminants present in produced water from oil and gas industries, Gallo-Cordova *et al.* [89] studied the adsorption of organic compounds from different residual biomasses (e.g. palm shell, orange, peel, banana peel, passion fruit peel, cocoa bean and sawdust). The adsorption experiments showed that only palm shell and sawdust were able to remove organic compounds from the aqueous media, with adsorption capacities about 5.6 and 32.8 mg g<sup>-1</sup> of dry adsorbent.

### Biomaterials for biomedical applications

Pupiales *et al.* [90] have pioneered the evaluation of using biomass waste for the production of porous scaffold via alkaline treatments. Scaffolds were synthesized by alkaline attack (NaOH) and varying reaction parameters, such as biomass concentration, temperature, NaOH concentration, operating time, and mesocarp dimensions (cacao variety CCN-51).



Based on these results, a model was implemented to partially predict the behavior of the output reaction variables (e.g. lignin, cellulose, ash content and yield). Accordingly, NaOH concentration and temperature seemed to be the most important variables for generating porous structures rich in cellulose from cocoa pod shells. This study opened up, a new line of investigation concerning the application of bioporous materials in biomedical applications, e.g. in vitro cytocompatibility, and proliferation and differentiation.

## CONCLUSION AND FUTURE DIRECTIONS

This contribution has shortly reviewed not only the most recent studies concerning the conventional chemical, biological and thermochemical conversion processes, but also the latest improvements for making value-added products from Ecuadorian residual biomass.

There is no doubt about Ecuador's potential to produce and utilize energy from biomass residues. Several studies have shown that conventional transformation methods (e.g. AD, fermentation, and pyrolysis) are better understood at lab-scale, and could be the milestone for scaling up into pilot and big scale plants. Interestingly, recently research articles have also revealed a further valorization of Ecuadorian biomass, aiming at the production of value-added goods, such as hydrogen, and porous materials (adsobers, scaffolds) that open-up new perspectives for a more efficient and environmentally centered bio-economy. However, there are still several economic and technological challenges to over-come in Ecuador not only related to basic research, but also implementation of renewable-friendly public policies. Therefore, it is crucial the application of the triple helix of innovation, which involves government, university, and industry for the production and dissemination of knowledge in pro of a bio-economy development.

## AUTHORS CONTRIBUTION

Sebastián Ponce developed the literature review and prepared the initial draft, José Alvarez Barreto and Daniela Almeida Streitwieser contributed with fruitful discussions, revisions, and preparation of final manuscript.

## CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran que esta investigación fue conducida en la ausencia de relaciones comerciales o financieras que pudieran constituir un potencial conflicto de interés.

## REFERENCES

- [1] Shafiee, S., & Topal, E. (2009). When will fossil fuel reserves be diminished? *Energy Policy*, 37(1), 181-189. doi: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2008.08.016>
- [2] Rahman, M. M., B. Mostafiz, S., Paatero, J. V., & Lahdelma, R. (2014). Extension of energy crops on surplus agricultural lands: A potentially viable option in developing countries while fossil fuel reserves are diminishing. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 29, 108-119. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.08.092>
- [3] Belenky, A. S., Farazmand, A., & Vasin, A. (2019). The Management of Large Scale Energy Projects: Opportunities and Challenges. *International Journal of Public Administration*, 42(15-16), 1251-1255. doi: <https://doi.org/10.1080/01900692.2019.1675929>
- [4] FVásquez, Z., de Carvalho Neto, D., Pereira, G., Vandenberghe, L., de Oliveira, P., Tiburcio, P., Rogez, H., Góes Neto, A. and Soccol, C., 2019. Biotechnological approaches for cocoa waste management: A review. *Waste Management*, [online] 90, pp.72-83. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.04.030> [Accessed 26 August 2021].
- [5] Hache, E. (2018). Do renewable energies improve energy security in the long run? *International Economics*, 156, 127-135. doi: <https://doi.org/10.1016/j.inteco.2018.01.005>
- [6] Barreto, R. A. (2018). Fossil fuels, alternative energy and economic growth. *Economic Modelling*, 75, 196-220. doi: <https://doi.org/10.1016/j.econmod.2018.06.019>
- [7] Vásquez, Z., de Carvalho Neto, D., Pereira, G., Vandenberghe, L., de Oliveira, P., Tiburcio, P., Rogez, H., Góes Neto, A. and Soccol, C., 2019. Biotechnological approaches for cocoa waste management: A review. *Waste Management*, [online] 90, pp.72-83. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.04.030> [Accessed 26 August 2021].
- [8] Popp, J., Lakner, Z., Harangi-Rákos, M., & Fári, M. (2014). The effect of bioenergy expansion: Food, energy, and environment. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 32, 559-578. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.01.056>
- [9] Gamborg, C., Millar, K., Shortall, O., & Sandøe, P. (2012). Bioenergy and Land Use: Framing the Ethical Debate. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics*, 25(6), 909-925. doi: <https://doi.org/10.1007/s10806-011-9351-1>
- [10] Edlmann, W., Schleiss, K., & Joss, A. (2000). Ecological, energetic and economic comparison of anaerobic digestion with different competing technologies to treat biogenic wastes. *Water Science and Technology*, 41(3), 263-273. doi: <https://doi.org/10.2166/wst.2000.0080>
- [11] Nallathambi Gunaseelan, V. (1997). Anaerobic digestion of biomass for methane production: A review. *Biomass and Bioenergy*, 13(1), 83-114. doi: [https://doi.org/10.1016/S0961-9534\(97\)00020-2](https://doi.org/10.1016/S0961-9534(97)00020-2)
- [12] Margallo, M., Ziegler-Rodríguez, K., Vázquez-Rowe, I., Aldaco, R., Irabien, Á., & Kahhat, R. (2019). Enhancing waste management strategies in Latin America under a holistic environmental assessment perspective: A review for policy support. *Science of The Total Environment*, 689, 1255-1275. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.06.393>
- [13] UN-HABITAT. (2010). 2010 WTE industry in Latin America. Retrieved from [https://mirror.unhabitat.org/downloads/docs/10740\\_1\\_594319.pdf](https://mirror.unhabitat.org/downloads/docs/10740_1_594319.pdf)
- [14] Hidalgo-Crespo, J., Amaya, J., Jervis, F., Moreira, C., Crespo-Vaca, T., Zabala-Ortiz, G., & Coello-Pisco, *Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologías de Informação* (2019). Waste-To-Energy Incineration: Evaluation of energy potential for urban domestic waste in Guayaquil. (E23), 392-403.
- [15] Posso, F., Siguencia, J., & Narváez, R. (2020). Residual biomass-based hydrogen production: Potential and possible uses in Ecuador. *International Journal of Hydrogen Energy*, 45(26), 13717-13725. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.09.235>
- [16] Sa, E. C. (2014). *Atlas bioenergético del Ecuador*. Recuperado de: <http://www.energia.gob.ec/biblioteca/>(Agosto, 2016).
- [17] García M, J. C., Machimura, T., & Matsui, T. (2012). Optimizing Plant Allocation for Bioethanol Production from Agro-residues Considering CO2 Emission and Energy Demand–Supply Balance: A Case Study in Ecuador. *Waste and Biomass Valorization*, 3(4), 435-442. doi: <https://doi.org/10.1007/s12649-012-9138-2>
- [18] García, J., Machimura, T., & Matsui, T. (2013). A Nation-wide Planning of Agro-residue Utility for Bioethanol Production and Power Generation in Ecuador. *Energy Procedia*, 34, 57-63. doi: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2013.06.733>





- [19] Vega-Quezada, C., Blanco, M., & Romero, H. (2017). Synergies between agriculture and bioenergy in Latin American countries: A circular economy strategy for bioenergy production in Ecuador. *New Biotechnology*, 39, 81-89. doi: <https://doi.org/10.1016/j.nbt.2016.06.730>
- [20] García, J., Machimura, T., Matsui, T., & Miyauchi, T. (2014). Estimating the potential and planning of bioethanol production from agro-residues based on a model-predicted NPP under climate change in Ecuador. *Journal of Agricultural Meteorology*, 70(4), 171-185. doi: <https://doi.org/10.2480/agrmet.D-13-00027>
- [21] Barragán-Escandón, A., Olmedo Ruiz, J. M., Curillo Tigre, J. D., & Zalamea-León, E. F. (2020). Assessment of Power Generation Using Biogas from Landfills in an Equatorial Tropical Context. *Sustainability*, 12(7). doi: <https://doi.org/10.3390/su12072669>
- [22] Heredia Salgado, M., Tarelho, L., Matos, M., Rivadeneira, D., & Narváez C, R. (2019). Palm oil kernel shell as solid fuel for the commercial and industrial sector in Ecuador: tax incentive impact and performance of a prototype burner. *Journal Of Cleaner Production*, 213, 104-113. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.12.133>
- [23] Peláez-Samaniego, M., & Espinoza Abad, J. (Eds.) (2015). *Energías renovables en el Ecuador. Situación actual, tendencias y perspectivas* (1st ed., pp. 29-115). Cuenca, Ecuador: Universidad de Cuenca.
- [24] Loor, M. C., Andrade, F., Lizarzaburu, L., & Masache, M. (2017). *Valoración económica de los cobeneficios del aprovechamiento energético de los residuos agrícolas en el Ecuador*. Retrieved from <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/41830>
- [25] Cornejo, C., & Wilkie, A. C. (2010). Greenhouse gas emissions and biogas potential from livestock in Ecuador. *Energy for Sustainable Development*, 14(4), 256-266. doi: <https://doi.org/10.1016/j.esd.2010.09.008>
- [26] Jara-Samaniego, J., Pérez-Murcia, M. D., Bustamante, M. A., Paredes, C., Pérez-Espinoza, A., Gavilanes-Terán, I., . . . Moral, R. (2017). Development of organic fertilizers from food market waste and urban gardening by composting in Ecuador. *PLOS ONE*, 12(7), e0181621. doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0181621>
- [27] Serrano, J., Mejía, W., Ortiz, J., Sánchez, A., & Zalamea, S. (2017). Determinación del Potencial de Generación Eléctrica a Partir de Biomasa en el Ecuador. *Revista de la Facultad de Ciencias Químicas*, 17, 41-61. <https://publicaciones.ucuena.edu.ec/ojs/index.php/quimica/article/view/1592>
- [28] Ponce-Jara, M. A., Castro, M., Pelaez-Samaniego, M. R., Espinoza-Abad, J. L., & Ruiz, E. (2018). Electricity sector in Ecuador: An overview of the 2007–2017 decade. *Energy Policy*, 113, 513-522. doi: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.11.036>
- [29] Agencia de Regulación y Control de Electricidad del Ecuador (ARCONEL). (2018). *Estadística Anual y Multianual del Sector Eléctrico Ecuatoriano* (pp. 9-30). Quito: ARCONEL. Retrieved from <https://www.regulacioneolica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/08/Estad%C3%ADsticaAnualMultianual2018.pdf>
- [30] Rivera-González, L., Bolonio, D., Mazadiego, L. F., & Valencia-Chapi, R. (2019). Long-Term Electricity Supply and Demand Forecast (2018–2040): A LEAP Model Application towards a Sustainable Power Generation System in Ecuador. *Sustainability*, 11(19). doi: <https://doi.org/10.3390/su11195316>
- [31] Vaca-Jiménez, S., Gerbens-Leenes, P. W., & Nonhebel, S. (2019). The water footprint of electricity in Ecuador: Technology and fuel variation indicate pathways towards water-efficient electricity mixes. *Water Resources and Industry*, 22, 100112. doi: <https://doi.org/10.1016/j.wri.2019.100112>
- [32] MERNNR. (2019). Ministerio de Energía y Recursos Naturales no Renovables: K007 Producción de Aceite de Piñón para plan piloto de generación eléctrica en Galápagos - Fase II. Retrieved from <https://www.recursoyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/2019/11/gprproduccion-aceite-pinon.pdf>
- [33] Narváez C, R. A., Ramírez, V., Chulde, D., Espinoza, S., & López-Villada, J. (2015). Microwave Pyrolysis Process Potential of Waste Jatropha Curcas Seed Cake. In A. Sayigh (Ed.), *Renewable Energy in the Service of Mankind Vol I: Selected Topics from the World Renewable Energy Congress WREC 2014* (pp. 91-100). Cham: Springer International Publishing.
- [34] Garfí, M., Martí-Herrero, J., Garwood, A., & Ferrer, I. (2016). Household anaerobic digesters for biogas production in Latin America: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 60, 599-614. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.01.071>
- [35] Mao, C., Feng, Y., Wang, X., & Ren, G. (2015). Review on research achievements of biogas from anaerobic digestion. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 45, 540-555. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.02.032>



- [36] Chen, Y., Cheng, J. J., & Creamer, K. S. (2008). Inhibition of anaerobic digestion process: A review. *Bioresource Technology*, 99(10), 4044-4064. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.01.057>
- [37] Davis, M. J. M., Polit, D. J., & Lamour, M. (2016). Social Urban Metabolism Strategies (SUMS) for Cities. *Procedia Environmental Sciences*, 34, 309-327. doi: <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2016.04.028>
- [38] Aguilar, M., Wang, Y., Roskilly, T., Pathare, P., & Lamidi, R. (2017). Biogas from anaerobic co-digestion of food waste and primary sludge for cogeneration of power and heat. *Energy Procedia*, 142, 70-76. doi: [10.1016/j.egypro.2017.12.012](https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.12.012)
- [39] Leyva, L., Santos, Y., Granda, I., Orges, C., Palacios, S., & Chapi, R. Design of a Lab-scale Anaerobic Biodigester for Renewable Energy from Municipal Solid Waste. Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management. Washington DC, USA, September 27-29, 2018. págs. 705-714
- [40] Castelo, P., Peñafiel, R., & Ochoa-Herrera, V. (2014). Digestión anaeróbica de desechos de frutas y hortalizas en reactores semicontinuos de un mercado municipal en Tumbaco, Ecuador. *ACI Avances En Ciencias E Ingenierías*, 6(2), 31-39. doi: <https://doi.org/10.18272/aci.v6i2.185>
- [41] Romero, H. I., Vega, C. A., Zuma, J. D., Pesantez, F. F., Camacho, A. G., & Redrovan, F. F. (2020). Comparison of the methane potential obtained by anaerobic codigestion of urban solid waste and lignocellulosic biomass. *Energy Reports*, 6, 776-780. doi: <https://doi.org/10.1016/j.egy.2019.10.013>
- [42] Gaibor-Chávez, J., Niño-Ruiz, Z., Velázquez-Martí, B., & Lucio-Quintana, A. (2019). Viability of Biogas Production and Determination of Bacterial Kinetics in Anaerobic Co-digestion of Cabbage Waste and Livestock Manure. *Waste and Biomass Valorization*, 10(8), 2129-2137. doi: <https://doi.org/10.1007/s12649-018-0228-7>
- [43] Barzallo-Bravo, L. A., Carrera-Villacrés, D., Vargas-Verdesoto, R. E., Ponce-Loaiza, L. K., Correo, M., & Gavilanes-Quishpi, Á. P. (2019). Bio-digestion and post-treatment of effluents by bio-fermentation, an opportunity for energy uses and generation of organic fertilizers from bovine manure. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 8(4), 431-438. doi: <https://doi.org/10.1007/s40093-019-0275-5>
- [44] Muñoz Espinoza, M., Barros-Rodríguez, M., Valencia Nuñez, R., Mera Andrade, R., Artieda-Rojas, J., Najarro, R. N., Romero Fernández, A. (2019). Biogas Production and in Vitro CH<sub>4</sub> from Excrement of Cattle, Sheep, Pigs and Hen. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 22(2019), 833-836. <https://www.revista.cbca.uady.mx/ojs/index.php/TSA/article/view/3084tsaes.v22i3.3084>
- [45] Mantuano, J., Macías, M., Toapanta, E., Palma, K., & Giraldo, M. (2020). Obtaining biogas product from biological residues vaccines in Chone city. *International Journal Of Physical Sciences And Engineering*, 4(1), 21-28. doi: <https://doi.org/10.29332/ijpse.v4n1.416>
- [46] Diéguez-Santana, K., González, E. C., Pérez-Martínez, A., & Herrera-Robledo, M. (2018). *The Pig Manure Anaerobic Digestion. A tubular biodigester characterization in the Ecuadorian Amazon*. Paper presented at the Proceedings of MOL2NET 2018, International Conference on Multidisciplinary Sciences, 4th edition.
- [47] Almeida Streitwieser, D., & Cadena Cabezas, I. (2018). - Preliminary Study of Biomethane Production of Organic Waste based on their Content of Sugar, Starch, Lipid, Protein and Fibre. *Chemical Engineering Transactions*, 65, 661-666. doi: <https://doi.org/10.3303/CET1865111>
- [48] Acosta, N., De Vrieze, J., Sandoval, V., Sinche, D., Wierinck, I., & Rabaey, K. (2018). Cocoa residues as viable biomass for renewable energy production through anaerobic digestion. *Bioresource Technology*, 265, 568-572. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.05.100>
- [49] Gavilanes, F. Z., Guedes, C. L. B., Silva, H. R., Nomura, R. G., & Andrade, D. S. (2019). Physic Nut Seed Cake Methanation and Chemical Characterization of Anaerobic Bio-digested Substrate. *Waste and Biomass Valorization*, 10(5), 1267-1276. doi: <https://doi.org/10.1007/s12649-017-0148-y>
- [50] Pazmiño-Hernandez, M., Moreira, C. M., & Pullammanappallil, P. (2019). Feasibility assessment of waste banana peduncle as feedstock for biofuel production. *Biofuels*, 10(4), 473-484. doi: <https://doi.org/10.1080/17597269.2017.1323321>
- [51] Almeida Streitwieser, D. (2017). Comparison of the anaerobic digestion at the mesophilic and thermophilic temperature regime of organic wastes from the agribusiness. *Bioresource Technology*, 241, 985-992. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.06.006>



- [52] Mohd Azhar, S., Abdulla, R., Jambo, S., Marbawi, H., Gansau, J., Mohd Faik, A., & Rodrigues, K. (2017). Yeasts in sustainable bioethanol production: A review. *Biochemistry And Biophysics Reports*, 10, 52-61. doi: <https://doi.org/10.1016/j.bbrep.2017.03.003>
- [53] Bušić, A., Marđetko, N., Kundas, S., Morzak, G., Belskaya, H., Ivančić Šantek, M., . . . Šantek, B. (2018). Bioethanol Production from Renewable Raw Materials and Its Separation and Purification: A Review. *Food technology and biotechnology*, 56(3), 289-311. doi: <https://doi.org/10.17113/ftb.56.03.18.5546>
- [54] Graefe, S., Dufour, D., Giraldo, A., Muñoz, L. A., Mora, P., Solís, H., . . . Gonzalez, A. (2011). Energy and carbon footprints of ethanol production using banana and cooking banana discard: A case study from Costa Rica and Ecuador. *Biomass and Bioenergy*, 35(7), 2640-2649. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2011.02.051>
- [55] Guerrero, A. B., & Muñoz, E. (2018). Life cycle assessment of second generation ethanol derived from banana agricultural waste: Environmental impacts and energy balance. *Journal of Cleaner Production*, 174, 710-717. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.298>
- [56] Velazquez-Martí, B., Pérez-Pacheco, S., Gaibor-Chávez, J., & Wilcaso, P. (2016). Modeling of Production and Quality of Bioethanol Obtained from Sugarcane Fermentation Using Direct Dissolved Sugars Measurements. *Energies*, 9(5), 319. doi: <https://doi.org/10.3390/en9050319>
- [57] BMacías, C., & Palacios, A. (2017). Estudio cinético de la producción de bioetanol a partir de residuos agroindustriales de cáscara de banano maduro (Undergraduate). Universidad Técnica de Machala.
- [58] Costa, S., Rugiero, I., Larenas Uria, C., Pedrini, P., & Tamburini, E. (2018). Lignin Degradation Efficiency of Chemical Pre-Treatments on Banana Rachis Destined to Bioethanol Production. *Biomolecules*, 8(4), 141. doi: <https://doi.org/10.3390/biom8040141>
- [59] Portero-Barahona, P., Carvajal-Barriga, E., Martín-Gil, J., & Martín-Ramos, P. (2019). Sugarcane Bagasse Hydrolysis Enhancement by Microwave-Assisted Sulfolane Pretreatment. *Energies*, 12(9), 1703. doi: <https://doi.org/10.3390/en12091703>
- [60] Pérez-Arévalo, J. J., & Velázquez-Martí, B. (2018). Evaluation of pruning residues of Ficus benjamina as a primary biofuel material. *Biomass and Bioenergy*, 108, 217-223. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2017.11.017>
- [61] Velázquez-Martí, B., Gaibor-Chávez, J., Niño-Ruiz, Z., & Narbona-Sahuquillo, S. (2018). Complete characterization of pruning waste from the lechero tree (*Euphorbia laurifolia* L.) as raw material for biofuel. *Renewable Energy*, 129, 629-637. doi: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.06.050>
- [62] Larrea, F. A., Salazar, S., Andino, C., Ona, D., Mora, J., Streitwieser, D. A., & Alvarez-barreto, J. F. (2020). Comparison of Bioethanol Production of Starches from Different Andean Tubers. *CHEMICAL ENGINEERING TRANSACTIONS*, 80(April), 259-264. <https://doi.org/10.3303/CET2080044>
- [63] Carvajal Barriga, E. J., Guamn-Burneo, C., Portero, P., Salas, E., Tufio, C., & Bastidas, B. (2013). Second Generation Ethanol from Residual Biomass: Research and Perspectives in Ecuador. In C. Guamán-Burneo (Ed.), *Biomass Now - Sustainable Growth and Use* (p. Ch. 10). Rijeka: InTech. <https://doi.org/10.5772/51951>
- [64] Kumar, A., Jones, D., & Hanna, M. (2009). Thermochemical Biomass Gasification: A Review of the Current Status of the Technology. *Energies*, 2(3), 556-581. doi: <https://doi.org/10.3390/en20300556>
- [65] Nussbaumer, T. (2003). Combustion and Co-combustion of Biomass: Fundamentals, Technologies, and Primary Measures for Emission Reduction. *Energy & Fuels*, 17(6), 1510-1521. doi: <https://doi.org/10.1021/ef030031q>
- [66] Vargas, D. C., Salazar, S., Mora, J. R., Van Geem, K. M., & Almeida Streitwieser, D. (2020). Experimental and theoretical study of the thermal decomposition of ethyl acetate during fast pyrolysis. *Chemical Engineering Research and Design*, 157, 153-161. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2020.03.001>
- [67] Choi, M. K., Park, H. C., & Choi, H. S. (2018). Comprehensive evaluation of various pyrolysis reaction mechanisms for pyrolysis process simulation. *Chemical Engineering and Processing - Process Intensification*, 130, 19-35. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cep.2018.05.011>
- [68] Bridgwater, A. V. (2012). Upgrading biomass fast pyrolysis liquids. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 31(2), 261-268. doi: <https://doi.org/10.1002/ep.11635>



- [69] Pérez-Arévalo, J. J., Callejón-Ferre, A. J., Velázquez-Martí, B., & Suárez-Medina, M. D. (2015). Prediction models based on higher heating value from the elemental analysis of neem, mango, avocado, banana, and carob trees in Guayas (Ecuador). *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, 7(5), 053122. doi: <https://doi.org/10.1063/1.4934593>
- [70] Pérez Arévalo, J. J., & Velázquez Martí, B. (2020). Characterization of teak pruning waste as an energy resource. *Agroforestry Systems*, 94(1), 241-250. doi: <https://doi.org/10.1007/s10457-019-00387-3>
- [71] Ghysels, S., Estrada León, A. E., Pala, M., Schoder, K. A., Van Acker, J., & Ronsse, F. (2019). Fast pyrolysis of mannan-rich ivory nut (*Phytelphas aequatorialis*) to valuable biorefinery products. *Chemical Engineering Journal*, 373, 446-457. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2019.05.042>
- [72] Rivadeneira, D., Ramírez, V., Narváez, R., Heredia, M., Antonio da Cruz, L., & Amador-de Matos, A. (2017). First analysis of emissions during the combustion of pellets of *Jatropha curcas* at 2635 masl. *Investigación y Saberes*, 3(3), 65-79. [https://www.researchgate.net/publication/322405943\\_PRIMER\\_ANALISIS\\_DE\\_EMISIONES\\_DURANTE\\_LA\\_COMBUSTION\\_DE\\_PELLETES\\_DE\\_JATROPHA\\_CURCAS\\_A\\_2635\\_MSNM\\_FIRST\\_ANALYSIS\\_OF\\_EMISSIONS\\_DURING\\_THE\\_COMBUSTION\\_OF\\_PELLETES\\_OF\\_JATROPHA\\_CURCAS\\_AT\\_2635\\_MASL](https://www.researchgate.net/publication/322405943_PRIMER_ANALISIS_DE_EMISIONES_DURANTE_LA_COMBUSTION_DE_PELLETES_DE_JATROPHA_CURCAS_A_2635_MSNM_FIRST_ANALYSIS_OF_EMISSIONS_DURING_THE_COMBUSTION_OF_PELLETES_OF_JATROPHA_CURCAS_AT_2635_MASL)
- [73] Ramírez, V., Martí-Herrero, J., Romero, M., & Rivadeneira, D. (2019). Energy use of *Jatropha* oil extraction wastes: Pellets from biochar and *Jatropha* shell blends. *Journal of Cleaner Production*, 215, 1095-1102. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.01.132>
- [74] Heredia Salgado, M. A., Tarelho, L. A. C., Rivadeneira, D., Ramírez, V., & Sinche, D. (2020). Energetic valorization of the residual biomass produced during *Jatropha curcas* oil extraction. *Renewable Energy*, 146, 1640-1648. doi:<https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.07.154>
- [75] Heredia, M. (2017). Cuesco de palma africana , un nuevo combustible para uso comercial en Ecuador : análisis económico y evidencia experimental. Aveiro. Retrieved from <https://www.researchgate.net/publication/316844319>
- [76] Heredia Salgado, M. A., Caba S, J. A., & Tarelho, L. A. C. (2020). Simultaneous production of biochar and thermal energy using palm oil residual biomass as feedstock in an auto-thermal prototype reactor. *Journal of Cleaner Production*, 266, 121804. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121804>
- [77] Salgado, M. A. H., Tarelho, L. A. C., & Matos, A. (2020). Analysis of Combined Biochar and Torrefied Biomass Fuel Production as Alternative for Residual Biomass Valorization Generated in Small-Scale Palm Oil Mills. *Waste and Biomass Valorization*, 11(1), 343-356. doi: <https://doi.org/10.1007/s12649-018-0467-7>
- [78] Teichmann, D., Art, W., & Wasserscheid, P. (2012). Liquid Organic Hydrogen Carriers as an efficient vector for the transport and storage of renewable energy. *International Journal of Hydrogen Energy*, 37(23), 18118-18132. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2012.08.066>
- [79] Runge, P., Sölch, C., Albert, J., Wasserscheid, P., Zöttl, G., & Grimm, V. (2019). Economic comparison of different electric fuels for energy scenarios in 2035. *Applied Energy*, 233-234, 1078-1093. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.10.023>
- [80] Posso, F., Narváez, R. A., Siguencia, J., & Sánchez, J. (2019). Use of Municipal Solid Waste (MSW)-Derived Hydrogen in Ecuador: Potential Applications for Urban Transportation. *Waste and Biomass Valorization*, 10(6), 1529-1537. doi: <https://doi.org/10.1007/s12649-017-0161-1>
- [81] Narváez, R., Vargas, G., & Espinoza, F. (2013). Potential of Waste-to- Energy Implementation in Ecuador. *International Journal of Energy Engineering*, 3(6), 279-286. doi: <https://doi.org/10.5923/j.ijee.20130306.01>
- [82] Davis, M. E. (2002). Ordered porous materials for emerging applications. *Nature*, 417(6891), 813-821. doi: <https://doi.org/10.1038/nature00785>
- [83] Campaña-Pérez, J. F., Portero Barahona, P., Martín-Ramos, P., & Carvajal Barriga, E. J. (2019). Ecuadorian yeast species as microbial particles for Cr(VI) biosorption. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(27), 28162-28172. doi: <https://doi.org/10.1007/s11356-019-06035-8>
- [84] Kumar, B., Smita, K., Sánchez, E., Stael, C., & Cumbal, L. (2016). Andean Sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.) shell biomass as new biosorbents for Pb<sup>2+</sup> and Cu<sup>2+</sup> ions. *Ecological Engineering*, 93, 152-158. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.05.034>
- [85] Gallardo-Rodríguez, J. J., Rios-Rivera, A. C., & Von Bennevit, M. R. (2019). Living biomass supported on a natural-fiber biofilter for lead removal. *Journal of Environmental Management*, 231, 825-832. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.11.004>



- [86] Banchon, C., Castillo, A., & Posligua, P. (2017). Chemical interactions to cleanup highly polluted automobile service station wastewater by bioadsorption-coagulation-flocculation. *Journal of Ecological Engineering*, 18(1), 1-10. doi: <https://doi.org/10.12911/22998993/66252>
- [87] Vera, L. M., Bermejo, D., Uguña, M. F., García, N., Flores, M., & González, E. (2019). Fixed bed column modeling of lead(II) and cadmium(II) ions biosorption on sugarcane bagasse. *Environmental Engineering Research*, 24(1), 31-37. doi: <https://doi.org/10.4491/eer.2018.042>
- [88] Aldás Sandoval, M. B., Buenaño Bautista, B. B., & Vera Calle, E. R. (2019). Study of coagulating/flocculating characteristics of organic polymers extracted from biowaste for water treatment. *Ingeniería e Investigación*, 39(1), 24–35. <https://doi.org/10.15446/ing.investig.v39n1.69703>
- [89] Gallo-Cordova, A., Silva-Gordillo, M. d. M., Muñoz, G. A., Arboleda-Faini, X., & Almeida Streitwieser, D. (2017). Comparison of the adsorption capacity of organic compounds present in produced water with commercially obtained walnut shell and residual biomass. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 5(4), 4041-4050. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2017.07.052>
- [90] Pupiales, B., Galeas, S., Guerrero, V., Proano, J., Leon, M., & Alvarez-Barreto, J. (2020). Generation of porous scaffolds from cacao mesocarp for biomedical applications using surface response methodology. *Chemical Engineering Transactions*, 79(October 2019), 151–156. <https://doi.org/10.3303/CET2079026>

## Biopolímeros de cáscaras de mango y su importancia en la soberanía alimentaria

Andrea Sánchez-Montoya<sup>1</sup>, Cristina Garcés-López<sup>1</sup>, F.E.Carvajal-Larenas<sup>1\*</sup>, Gisela Criollo-Criollo<sup>1</sup>, Nicole Martínez-Ochoa<sup>1</sup>, Pablo Terán-Maldonado<sup>1</sup>, Carolina Reyes-Jácome<sup>1</sup>, Joselyn Andrade-Cruz<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Ingeniería en Alimentos, Universidad San Francisco de Quito USFQ, Ecuador

\*Autor para correspondencia / Corresponding Author: [assanchezm@hotmail.com](mailto:assanchezm@hotmail.com)

## Biopolymers of mango peels and their importance in food sovereignty

### Abstract

Through this literature review it has been found that biopolymers based on mango by-products would be able to prolong the shelf life of food without affecting its quality and organoleptic properties. The bioactive compounds in the shell of this fruit would protect a product from physical-chemical damage and microbial contamination. In addition, these packages could reduce waste and environmental pollutants. This review was carried out considering as quality indicators: water vapor permeability and quantity of phenolic compounds mainly. It was found that the fish gelatin film with 5% mango peel extract (MPE) would have a low water vapor permeability WVP:  $1.98 \pm 0.15$  g mm / kPa s m<sup>2</sup> while its antioxidant compounds would allow the increase of food shelf life, due to its barrier properties, thus contributing to reducing food industry waste. Likewise, the biopolymers of mango peel by-products would contribute to the concept of food sovereignty because they promote the conservation of food in a sustainable and accessible way, maintaining the quality, safety and nutritional value of the product. Biopolymers are an ecological alternative to synthetic containers.

**Keywords:** biofilms, shelf life, bioactive compounds, by-products, packaging.

### Resumen

Mediante la presente revisión bibliográfica se ha encontrado que los biopolímeros a base de subproductos del mango serían capaces de prolongar la vida útil de los alimentos sin afectar su calidad y propiedades organolépticas. Los compuestos bioactivos de la cáscara de este fruto protegerían a un producto de daños fisicoquímicos y contaminación microbiana. Además, estos empaques podrían disminuir los residuos y contaminantes ambientales. Esta revisión se realizó considerando como indicadores de calidad: la permeabilidad al vapor de agua y cantidad de compuestos fenólicos principalmente. Se encontró que la película de gelatina de pescado con 5% de extracto de cáscara de mango (MPE) tendría una baja permeabilidad al vapor de agua WVP:  $1,98 \text{ E-}14$  (g/m s Pa) mientras que sus compuestos antioxidantes permitirían el



Licencia Creative Commons  
Atribución-NoComercial 4.0



Editado por /  
Edited by:  
Juan Sebastián  
Proaño Avilés

Recibido /  
Received:  
06/04/2020

Aceptado /  
Accepted:  
17/06/2021

Publicado en línea /  
Published online:  
31/08/2021



umento de la vida útil del alimento, por sus propiedades de barrera, contribuyendo así a reducir los desperdicios de la industria alimentaria. Asimismo, los biopolímeros de subproductos de cáscara de mango contribuirían al concepto de soberanía alimentaria pues promueven la conservación de los alimentos de manera sustentable, sostenible y accesible, manteniendo al mismo tiempo la calidad, inocuidad y el valor nutricional del producto. Los biopolímeros son una alternativa a los envases sintéticos.

**Palabras clave:** biopelículas, vida útil, compuestos bioactivos, subproductos, empaques.

## INTRODUCCIÓN

Los biopolímeros son una alternativa a los envases sintéticos. Para su elaboración se requiere de subproductos (cáscaras y/o semillas) de frutas [1]. El mango (*Mangifera indica* L. cv *Manila*) posee un alto contenido de polisacáridos y compuestos bioactivos, lo que permitiría proteger los alimentos de daños mecánicos, físicos, químicos y contaminación microbiana [2]. Además, otorgaría a las películas un alto contenido antioxidante que actuaría como barrera protectora en el alimento [3]. El objetivo de la presente revisión bibliográfica es determinar el biopolímero a base de subproductos de mango que más contribuya a mantener la calidad de los alimentos. Estos empaques podrían disminuir los residuos y contaminantes ambientales en la cadena de valor del mango contribuyendo al concepto de soberanía alimentaria [4].

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó una revisión bibliográfica para cumplir con el objetivo de la investigación. De tal forma que se consideró como indicadores de calidad de las biopelículas a las siguientes propiedades: permeabilidad del vapor de agua (WVP o PVA), concentración de compuestos fenólicos (mangiferina, quercetina, ácido elágico y ácido gálico), solubilidad, tensión de rotura y opacidad. Las biopelículas investigadas de subproductos de mango fueron elaboradas con diferentes concentraciones de grasa, almidón, polvo o extractos fenólicos de este fruto junto con diferentes mezclas de gelatina de pescado, nanocristales, alcohol polivinilo, ciclodextrinas y proteína aislada de soja.

## RESULTADOS

En la tabla 1 se muestra las características de la película de gelatina de pescado con 5% de (MPE), representando el mejor biopolímero en esta revisión debido a que tuvo la menor permeabilidad de vapor de agua WVP:  $1,98 \times 10^{-14}$  (g/m s Pa) y un alto contenido de compuestos antioxidantes que permitirían que un producto aumente su vida útil al incrementar sus propiedades de barrera, reduciendo los desperdicios de la industria alimentaria. Además, permite que el alimento mantenga sus propiedades organolépticas y nutricionales sin alterar su composición.

**TABLA 1.** Características físico-químicas y mecánicas de las películas con subproductos de mango

Película	Grosor (µm)	WVP (g/m s Pa)	Solubilidad (%)	Tensión de rotura (MPa)	Alargamiento de rotura (%)	L(*)	a(**)	b(***)	Opacidad	Fuente
F	100 ± 0,00	8,80x10 <sup>-10</sup> ± 0,02	60,24 ± 4,38	n.d.	n.d.	73,11 ± 0,75	10,39 ± 0,38	53,13 ± 1,72	5,83 ± 0,61	[1]
FE	110,00 ± 0,01	1,00x10 <sup>-9</sup> ± 0,00	52,56 ± 9,66	n.d.	n.d.	72,29 ± 0,77	10,32 ± 0,70	48,34 ± 0,36	5,54 ± 0,47	[1]
EFMP (2%)	n.d.	n.d.	n.d.	15,2 ± 0,05	n.d.	80,03 ± 0,4	5,88 ± 1,00	30,72 ± 1,88	n.d.	[2]
EFMP (4%)	n.d.	n.d.	n.d.	1,45 ± 1,85	n.d.	67,26 ± 0,20	7,29 ± 0,50	44,53 ± 1,96	n.d.	[2]
LIMPE 70% etanol	152 ± 9	n.d.	84,56 ± 0,85	15,20 ± 0,18	18,72 ± 0,58	86,73 ± 1,09	1,73 ± 0,51	28,70 ± 2,86	n.d.	[3]
LIMPE 80% acetona	151 ± 6	n.d.	71,08 ± 1,01	12,89 ± 0,13	33,07 ± 1,11	81,04 ± 0,61	2,89 ± 0,80	39,46 ± 3,75	n.d.	[3]
SPI 5% MIKE	66,00 ± 7	7,93x10 <sup>-8</sup> ± 1,81	1,34 ± 0,65	3,06 ± 0,24	49,92 ± 0,60	75,30 ± 0,02	2,24 ± 0,04	10,40 ± 0,08	9,89 ± 0,018	[4]
FG 5% MIKE	90,00 ± 11	15,10x10 <sup>-8</sup> ± 0,74	4,85 ± 0,14	7,74 ± 0,33	88,39 ± 4,26	81,35 ± 0,04	-1,17 ± 0,06	3,64 ± 0,03	1,19 ± 0,015	[4]
MPE 5%	42,28 ± 0,01	1,98x10 <sup>-11</sup> ± 0,015	20,06 ± 2,23	15,78 ± 0,75	42,09 ± 0,62	85,67 ± 0,27	-1,96 ± 0,02	5,74 ± 0,29	1,11 ± 0,22	[6]
5% SNC+ 5% CNC	150,00 ± 0,00	3,15x10 <sup>-11</sup> ± 0,00	n.d.	25,10 ± 0,00	2,53 ± 0,00	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	[7]
MKPE 20%	1,50x10 <sup>3</sup> ± 0,00	4,9x10 <sup>-8</sup> ± 0,00	n.d.	4,00 ± 0,00	48,57 ± 0,00	n.d.	n.d.	n.d.	443,4 ± 0,00	[10]
MKF 20%	1,50x10 <sup>3</sup> ± 0,00	7,20x10 <sup>-8</sup> ± 0,00	n.d.	4,04 ± 0,00	9,29 ± 0,00	n.d.	n.d.	n.d.	371,8 ± 0,00	[10]

L\*=Luminosidad, a\*\*= Coordenadas (+) rojo/(-)verde, b\*\*\*=Coordenadas (+)amarillo/(-)azul, n.d.= no disponible

F: Mango Peel Flour y Glicerol; FE: Mango Peel Flour, Glicerol y extracto de semilla de mango; EFMP: Edible Film with Mango Peel/ película comestible con cáscara de mango; LIMPE: Langra Mango Peel Extract/ extracto de la cáscara de mango Langra; SPI: Soja Protein Extract/aislado de proteína de soja aislada; MKE:Mango Kernel Extract/extracto de grano de mango; FG: Fish Gelatin/ gelatina de pescado; MPE: Mango Peel Extract/ extracto de cáscara de mango; CNC: Cellulose Nanocrystals/ nanocrystalos de celulosa; SNC: Starch and starch nanocrystals/ almidón y nanocrystalos de almidón; MKPE: Mango Kernel Phenolic Extract/ extracto fenólico del grano de mango; MKF: Mango Kernel Fat/ grasa del grano de mango.



## DISCUSIÓN

Las películas biodegradables hechas a base de subproductos de frutas tienen la capacidad de proteger al alimento de daños físicos, mecánicos y químicos [1]. La permeabilidad al vapor de agua (WVP) es un factor crucial en la vida útil del producto ya que otorga una estimación de las propiedades de barrera de un alimento [5]. A continuación, se analizan las características de las películas encontradas en la revisión, siendo la primera la mejor, considerando que contiene la menor WVP de todas. Se describe a la película de gelatina de pescado con 5% de extracto de cáscaras de mango (MPE) como una película gruesa, densa y continua, presentando una WVP de  $1,98 \times 10^{-14}$  (g/m s Pa). Esta película presentó un aumento de la composición de  $\beta$ -caroteno, lo que hizo que su aspecto incoloro cambie hacia un color amarillento. Esto se considera una ventaja ya que es un mecanismo para evitar la exposición a los rayos ultravioleta que podrían acelerar el deterioro de los alimentos. Además, se observó el incremento del total de compuestos fenólicos (TPC) de la película que proporcionan características antioxidantes [6]. Asimismo, presentó disminución de la transferencia de gases que podrían afectar al alimento [1]. Estas películas tuvieron menos opacidad debido a su espesor y a la gelatina de pescado, ya que se genera una fuerte interacción péptido-polifenol en la película. Por lo que se reducía la cantidad de luz que pasaba a través de las películas [6].

Por otra parte, los estudios mostraron una película con almidón de grano de mango reforzada con: nanocristales de celulosa de cáscaras de mango (CNC) y almidón y nanocristales de almidón de la semilla de mango (SNC). Esta película mostró mayor rigidez y mejor barrera de vapor de agua. Además, aumentó el módulo elástico. Esta variedad contenía 5% en peso de CNC y 5% en peso de SNC sobre una base de almidón, presentando mayor resistencia y una WVP de  $3,15 \times 10^{-10}$  (g/m s Pa) [7]. Otras películas se realizaron con mangos *Ataulfo*, con dos formulaciones: 1) F: 1,09% MPF (Mango Peel Flour: harina de cáscara de mango), 0,33% glicerol y 2) FE: que contenía MPF (1,09%), glicerol (0,33%) y extracto de semilla de mango (0,078 g/L). El MPF tiene un alto contenido de biopolímeros, provenientes de la fibra dietética (24,3%) que son adecuados para formar películas biodegradables. De estos, la película F presentó valores de WVP más altos  $8,80 \times 10^{-10}$  (g/m s Pa) que los de la película FE. Por otro lado, la adición de MPF causó una excelente actividad de eliminación de radicales libres en comparación con una película que no contenía MPE [1].

Otro estudio menciona que la adición de polvo de cáscara de mango (*Mangifera indica* L. cv Manila) EFMP al 2 y 4% de concentración mejora las propiedades físicas, estructurales y antioxidantes de las películas de almidón. La efectividad del mango sobre las películas comestibles se pudo evidenciar al recubrir rodajas de manzana deshidratadas (*Malus domestica*) durante el almacenamiento a 4°C. Los resultados de los análisis fisicoquímicos de textura mostraron que el agregar cáscara de mango incrementa la resistencia de penetración de las manzanas. A mayor porcentaje de cáscara de mango pulverizado (4%), las manzanas presentaron menor luminosidad, así como tonalidades verdes y rojizas. Su presencia también aumentó la firmeza, el índice de dorado y los compuestos fenólicos totales, así como la capacidad antioxidante de las manzanas en 178,4% y 830,7%, respectivamente. El recubrimiento comestible formulado con 2% de piel de mango mostró el índice de dorado más bajo [2]. Aunque se deben realizar más estudios para validar la efectividad de la cáscara de mango sobre la mejora de las



propiedades físicas y microbiológicas de los recubrimientos comestibles de almidón, este estudio muestra que su adición es beneficiosa en manzanas por su significativa capacidad antioxidante. Por otro lado, se han desarrollado películas a partir de alcohol de polivinilo (PVA), gelatina, ciclodextrinas y cáscara de mango (LMPE), con un contenido de 235 mg/g de compuestos fenólicos y 16 mg/g de taninos. Estas películas tuvieron 70% de etanol o 80% de extracto de acetona. En empaques de pollo o carne picada, proporcionaron mayor vida útil, de 3 a 10 días en refrigeración [3]. De modo que la cáscara de mango tiene potencial como ingrediente de películas biodegradables para el envasado activo de alimentos. Su uso podría reducir la producción de envases fabricados a base de petróleo [3].

Por otra parte, se describe películas con varios tipos de grasa de la semilla de mango (MKF) como el ácido oleico y esteárico, y otras formuladas con extracto fenólico (MKPE), todas mezcladas con almidón de mango (MKS) [10]. Se afirma que la presencia de grasa y fenoles produjo efectos plastificantes en el almidón [10]. Este efecto plastificante se debe a que el almidón al estar formado por amilosa y amilopectina tiene la capacidad de hidratación y gelatinización [8]. Los gránulos de almidón son insolubles en agua, pero cuando esta solución se empieza a calentar, estos gránulos empiezan un proceso lento de absorción de agua en las zonas intermicelares amorfas haciendo que su viscosidad aumente; dicho proceso se realiza en la producción de películas [9]. Además, esta característica del almidón junto con las propiedades funcionales de las grasas y los polifenoles del mango permiten la generación de películas más resistentes al vapor de agua, es decir, menos permeables [5]. El polímero de menor alargamiento de ese estudio fue el de 20% de MKF debido a la alta saturación de la grasa. Mientras que el de 20% MKPE fue más efectivo para disminuir la permeabilidad del vapor de agua, tuvo un valor de WVP de  $4,94 \times 10^{-10}$  (g/m s Pa) [10].

Además, se realizó envases activos usando diferentes concentraciones de extractos de grano de mango (MKE) (1 al 5%) en películas de aislado de proteína de soja aislada (SPI), y de gelatina de pescado (FG). El extracto de grano de mango (MKE) tenía un 41,1% de grasa y 40,8% de carbohidratos. Añadiendo 5% de MKE, las FG fueron 39% más gruesa, pero las SPI solo aumentaron 15% de grosor. Las FG fueron tres veces más solubles que las SPI, pues el MKE interrumpe la estructura ordenada, compacta y rígida de las FG creando canales de agua. Las SPI tienen una mejor barrera hacia la solubilidad en agua porque tienen una estructura globular. Las dos películas se volvieron más oscuras a mayor concentración de MKE. Las SPI tuvieron un 43% de tono rojizo y las FG tuvieron una tonalidad naranja amarillenta, por lo que presentan una ventaja para los alimentos sensibles a la luz. Las SPI y FG fueron más elásticas, fuertes y presentaron mayor resistencia a la tracción. Las SPI tuvieron 89% de actividad de eliminación de radicales libres, pues la actividad de los compuestos fenólicos, ácido gálico, fitoesteroles y tocoferoles del MKE aumenten esta actividad. Las SPI superaron a FG como películas de empaquetado activas, pues tiene mejores propiedades de barrera contra el agua con una liberación controlada de antioxidante en la prueba de migración. Las SPI con 5% de MKE tuvieron una WVP de  $7,93 \times 10^{-08}$  (g/m s Pa) [4].

## CONCLUSIÓN

Esta revisión bibliográfica muestra que los subproductos de mango pueden usarse para mejorar las propiedades mecánicas, físicas y microbiológicas de biopolímeros. Su incorporación en películas de polisacáridos y proteínas tiene un efecto significativo sobre la disminución de la permeabilidad al vapor de agua (WVP) y el aumento del contenido de compuestos fenólicos, así como de firmeza. Mientras más alta sea la concentración de semilla o cáscara de mango, menor será la WVP y, por tanto, mejor la barrera contra la humedad. Asimismo, a mayor contenido de compuestos fenólicos menor será la oxidación. De los estudios analizados se encontró que la película de gelatina de pescado con 5% de extracto de cáscaras de mango (MPE) obtuvo el menor WVP de  $1,98 \times 10^{-14}$  (g/m s Pa), por tanto, es la mejor opción de biopolímero de esta revisión. Por lo que, los biopolímeros de subproductos de mango promueven la soberanía alimentaria al conservar los alimentos de manera sustentable, sostenible y accesible, manteniendo la calidad, inocuidad y el valor nutricional del producto.

## CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

Andrea Sánchez, Cristina Garcés, Gisela Criollo, Nicole Martínez, Pablo Terán, Carolina Reyes y Joselyn Andrade concibieron la investigación; Andrea Sánchez y Cristina Garcés desarrollaron la metodología; Andrea Sánchez y Cristina Garcés analizaron e interpretaron los datos; Andrea Sánchez validó y verificó los resultados; Andrea Sánchez redactó el manuscrito; Andrea Sánchez, Cristina Garcés y Nicole Martínez produjeron la tabla 1; Francisco Carvajal fue el tutor que realizó la revisión crítica del contenido intelectual del manuscrito.

## REFERENCIAS

- [1] Torres, C., Vicente, A., Flores, M., Rojas, R., Serna, L., Álvarez, O., & Aguilar, C. (2018). Edible films and coatings based on mango (var. Ataulfo) by-products to improve gas transfer rate of peach. *LWT - Food Science and Technology*, 97, 624-631. doi: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.07.057>
- [2] Rojas-Bravo, M., Rojas-Zenteno, E., Hernández-Carranza, P., Ávila-Sosa, R., Aguilar-Sánchez, R., Ruiz-López, I., & Ochoa-Velasco, C. (2019). A Potential Application of Mango (*Mangifera indica* L. cv Manila) Peel Powder to Increase the Total Phenolic Compounds and Antioxidant Capacity of Edible Films and Coatings. *Food And Bioprocess Technology*, 12(9), 1584-1592. doi: <https://doi.org/10.1007/s11947-019-02317-8>
- [3] Kannatt, S. & Chawla, S. (2017). Shelf life extension of chicken packed in active film developed with mango peel extract. *Journal of Food Safety*, 38(1), 1-12. doi: <https://doi.org/10.1111/jfs.12385>
- [4] Maryam, Z., Jamilah, B., Nur, Z. (2018). Functional and antioxidant properties of protein-based films incorporated with mango kernel extract for active packaging. *Food Hydrocolloids*, 74, 207-218. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.08.017>
- [5] Otoni, C., Avena, R., Azeredo, H., Lorevice, M., Moura, M., Mattoso, L., & McHugh, T. (2017). Recent Advances on Edible Films Based on Fruits and Vegetables - A Review. *Comprehensive Reviews In Food Science and Food Safety*, 16, 1151-1169. doi: <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12281>
- [6] Nor Adilah, A., Jamilah, B., Noranizan, M., & Nur Hanani, Z. (2018). Utilization of mango peel extracts on the biodegradable films for active packaging. *Food Packaging and Shelf Life*, 16, 1-7. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2018.01.006>
- [7] Silva, A., Oliveira, A., Pontes, S., Pereira, A., Souza, M., Rosa, M., & Azeredo, H. (2019). Mango kernel starch films as affected by starch nanocrystals and cellulose nanocrystals. *Carbohydrate Polymers*, 211, 209-216. doi: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.02.013>
- [8] Badui Dergal, S. (2006). *Química de los alimentos* (4th ed., p. 738). Atoto, México: Pearson Educación.
- [9] Enríquez, M, Velasco, R & Ortiz, V. (2012). Composición y procesamiento de películas biodegradables basadas en almidón. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 10(1), 182-192. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v10n1/v10n1a21.pdf>
- [10] Melo, P., Silva, A., Marques, F., Ribeiro, P., Souza, M., Brito, E., Lima, J., & Azeredo, H. (2019). Antioxidant films from mango kernel components. *Food Hydrocolloids*, 95, 487-495. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.04.061>

## Evaluación de grafeno y magnetita como membranas de intercambio de electrones en celdas de combustible microbianas con sustratos orgánicos para producir bioelectricidad

Alex Guambo<sup>1</sup>, Cristina Calderón<sup>1,2</sup>, Magdy Echeverría<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Grupo de Investigación y Desarrollo para el Ambiente y Cambio Climático, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Panamericana Sur Km 1 1/2, Riobamba, Ecuador

<sup>2</sup>Facultad de Ciencias, ESPOCH, Panamericana Sur Km 1 1/2, Riobamba, Ecuador

\*Autor para correspondencia / Corresponding autor, email: [alexfernag@gmail.com](mailto:alexfernag@gmail.com)

## Evaluation of graphene and magnetite as electron exchange membranes in microbial fuel cells with organic substrates to produce bioelectricity

### Abstract

Currently, the most important challenge in energy development is the incorporation of renewable sources of energy using various technologies. These systems include different alternatives such as power generation from biomass. One form of these microorganism-catalyzed electrochemical bioreactor systems for the generation of energy forms using biomass as a substrate are microbial fuel cells, that according to their structural characteristics, produce bioelectricity as a certain nutritional requirement considered potentially polluting is degraded. However, the low levels of voltage and power density generated in a fuel cell limit their large-scale applicability. This research aims to evaluate graphene and magnetite as electron exchange membranes to improve voltage stability and efficiency in the generation of bioelectricity, for this, representative samples of high Andean moor soil from Canton Colta were taken for its use as inoculum, through a system of three clusters finally obtaining a composite sample. The substrate used was a 50:50 mixture of fruits (orange: *Citrus sinensis*, banana: *Musa acuminata* L. and apple: *Pyrus malus* L.) and vegetables (pea: *Pisum sativum* L., bean: *Vicia faba* L., squash: *Cucurbita Duchesne maximum*) in a decomposed state. Physicochemical characteristics of the inoculum and percentages of Carbon, Nitrogen, Hydrogen and Sulfur of the substrate were analyzed. The graphene membrane was obtained by direct exfoliation of graphite oxide, previously treated in an ultrasonic bath, on a carbon fiber fabric. Magnetite was synthesized from  $\text{FeCl}_2$  and  $\text{FeCl}_3$ . The voltage values generated by twelve cells were monitored, three for each membrane variation (graphene, magnetite, white and white with magnet) for fifteen consecutive days as a Bach reactor. The results were statistically analyzed taking average values and considering the difference between treatments. The efficiency of the materials used as membranes was established through a comparison of power density and degradation of its content. The average voltage obtained was 131 mV given by graphene membrane cells, the power density of 9.17 mW/m<sup>2</sup> and a



Licencia Creative Commons  
Atribución-NoComercial 4.0



Editado por /  
Edited by:  
Juan Sebastián  
Proaño Avilés

Recibido /  
Received:  
17/08/2020

Aceptado /  
Accepted:  
12/04/2021

Publicado en línea /  
Published online:  
31/08/2021



substrate degradation of 8.60% (N), 35.29% (C), 24.49% (H) and 12.16% (S), concluding that the graphene membrane has higher performance since it achieved a power density 42 times higher in relation to magnetite.

**Keywords:** Power Density, Degradation, residual biomass, electroactivity

## Resumen

En la actualidad, el desafío más importante del desarrollo energético es la incorporación de fuentes renovables de energía usando diversas tecnologías. Entre estos sistemas se incluyen diferentes alternativas como la generación de energía a partir de biomasa. Una forma de estos sistemas de biorreactores electroquímicos catalizados por microorganismos para la generación de formas energéticas usando biomasa como sustrato, son las celdas de combustible microbianas, que de acuerdo con sus características estructurales producen bioelectricidad conforme se degrada cierto requerimiento nutricional, considerado como, un contaminante potencial. Sin embargo, los bajos niveles de voltaje y densidad de potencia generados por una celda de combustible limitan su aplicabilidad a gran escala. Esta investigación tiene como objetivo evaluar el grafeno y magnetita como membranas de intercambio de electrones para mejorar la estabilidad de voltaje y eficiencia en la generación de bioelectricidad, utilizando como inóculo suelo de páramo alto andino del Cantón Colta, mediante un sistema de tres conglomerados para obtener una muestra compuesta, de la cual fueron analizadas sus características físico-químicas. El sustrato empleado fue una mezcla 50:50 de frutas (naranja: *Citrus x sinensis* Osbeck, banano: *Musa acuminata* L. y manzana: *Pyrus malus* L.) y vegetales (arveja: *Pisum sativum* L., haba: *Vicia faba* L., zapallo: *Cucurbita máxima* Duchesne) en estado de descomposición; se analizó su contenido de Carbono, Nitrógeno, Hidrógeno y Azufre. La membrana de grafeno se obtuvo mediante exfoliación directa de óxido de grafito, previamente tratado en baño ultrasónico, sobre un tejido de fibra de carbono, mientras que la magnetita se sintetizó a partir de cloruro férrico y cloruro ferroso. El voltaje generado por las celdas fue monitoreado durante quince días consecutivos, posteriormente se estimó la eficiencia de los materiales usados como membranas, a través de una comparación de densidad de potencia y la degradación de su contenido. El voltaje promedio obtenido por celdas con grafeno fue 131 mV, su densidad de potencia de 9,17 mW/m<sup>2</sup> y una degradación del sustrato de 8,60% (N), 35,29% (C), 24,49% (H) y 12,16% (S), mientras que celdas con magnetita consiguieron una degradación de 6,44% (N), 24,05% (C), 19,02% (H) y 11,35% (S), un voltaje de 14 mV y una densidad de potencia de 0,22 mW/m<sup>2</sup> concluyendo que la membrana de grafeno tiene mayor rendimiento puesto que logró una densidad de potencia 42 veces mayor en relación a la magnetita.

**Palabras clave:** Densidad de Potencia, Degradación, biomasa residual, electroactividad

---

## INTRODUCCIÓN

Al utilizar combustibles fósiles como la mayor fuente de energía, ocasionan impactos ambientales en los procesos de extracción y combustión. Para los procesos de extracción,



se requiere la remoción de flora y fauna del sector, provocando incluso pérdidas de ecosistemas, mientras que la refinación y su combustión genera emisión de gases, metales pesados, material particulado, que en su conjunto son los causantes de la degradación ambiental del planeta, sin contar con los posibles derrames de crudo que puede suceder.

Según el informe del Ministerio de Electricidad y Energía Renovable-Ecuador, en el 2016 se consumieron 1185 millones de galones de gasolina y 1993 millones de galones de diesel oil, como los derivados de petróleo más utilizados, lo cual ha generado impactos negativos en el ambiente, generando la necesidad de encontrar fuentes alternativas de energía, una de estas alternativas puede ser las celdas de combustible microbiano (CCMs), las cuales han generado nuevas expectativas como métodos de obtención de energías limpias. Estas se plantean además como una alternativa viable para solucionar conflictos ambientales y sociales vigentes tales como la polución presente en cuerpos hídricos y la falta de acceso a energías limpias.

Las CCMs han sido ampliamente utilizadas, principalmente para el tratamiento de aguas residuales, la recuperación de suelos y biosensores, sin embargo, en el momento de escalar los ensayos de laboratorio, la baja potencia obtenida ha limitado su aplicación [1], ya que estas no generan voltajes uniformes y constantes a lo largo del tiempo. Entre las posibles causas de variación se pueden destacar la composición de las celdas, pérdida de electrones, la comunidad bacteriana y cambios en las condiciones ambientales [2].

En estudios antes realizados, se observa una producción de bioelectricidad variable, ocasionando el consumo de combustible microbiano a lo largo del tiempo. La caída final de voltaje podría deberse a dos razones: el desgaste del material utilizado como electrodo ánodo que afecta a la captación de electrones en la cámara anódica (CA), al mismo tiempo afecta a las reacciones que se llevan a cabo en la cámara catódica (CC); y, la fuente nutricional limitada, provocando posiblemente competencia, antagonismo y nueva selección en el consorcio bacteriano de la CA, que dependiendo de su resistencia al estrés nutricional pudo afectar al desempeño en la producción bioeléctrica en las celdas de combustibles microbianas [3].

## PROPUESTA

La búsqueda de una alternativa para la obtención de energía limpia y sostenible es un paso predominante para el futuro, además esto va de la mano con la conservación de recursos y el aprovechamiento de residuos. Es por ello que existe la importancia de desarrollar investigaciones en las que se potencie estas alternativas. Desde años atrás, este tipo de estudios han causado un gran impacto positivo por sus aportes.

Las CCMs, son compartimentos electroquímicos que usan microorganismos como catalizadores para producir bioelectricidad, a partir de las transformaciones redox de materia orgánica, utilizando sustratos inorgánicos presentes en la biomasa o aguas residuales [4]. En artículos publicados, se detalla la estructura básica de este tipo de celdas, enfocándose en sus principios de funcionamiento y su evolución en el paso del tiempo, además de resaltar los rangos de voltaje obtenidos en una celda de composición básica [5]. El principio de funcionamiento es sencillo, se requiere dos cámaras, una



donde los electrones sean liberados y otra donde sean captados, y entre estas dos, debe existir una membrana como separador.

Sin embargo, la producción de bioelectricidad es variable, arroja valores fluctuantes de voltaje, desde la etapa de adaptación de los microorganismos, hasta un valor máximo de producción, y con el pasar de los días los valores caen, dicho inconveniente genera la necesidad de mejorar el diseño, utilizar otros materiales que posiblemente colaboren para obtener valores estables de producción de voltaje.

Se necesitan materiales con alta eficiencia en la transferencia de electrones, de los cuales, llaman la atención los nanomateriales, tales como óxido de grafeno reducido (RGO) y magnetita, que podrían servir como redes conductoras adicionales y biopelículas electroactivas [6]. Por lo que, este estudio se enfoca en la aplicación de sustratos y materiales óptimos para la generación estable de voltaje a lo largo del tiempo en el interior de una CCM.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Lugar de muestreo del inóculo

Se tomaron muestras de suelo de la parroquia Villa La Unión, perteneciente al Cantón Colta situado en la Provincia de Chimborazo. El área considerada se esquematiza en la Figura 1, para la localización y referenciación geográfica del área muestreada, se utilizó el equipo Garmin GPSMAP 78sc, las coordenadas obtenidas se muestran en unidades UTM 78°50'48,1776" W 1°44'42,3880" a una altitud de 4000 m.s.n.m

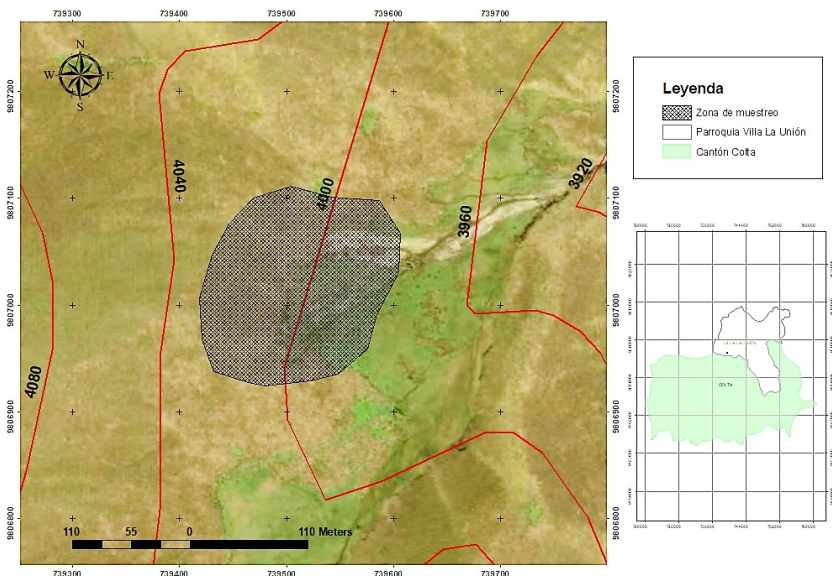


FIGURA 1. Sitio de muestreo.



## Muestreo

El área se dividió en conglomerados, formadas por cinco parcelas de 10 m de lado aproximadamente y una separación de 100 m entre una a otra.

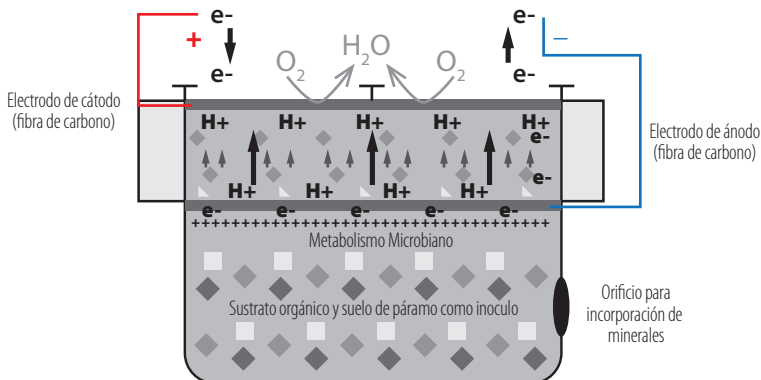
Para la obtención de la muestra compuesta, mediante barreno, se tomó cuatro submuestras a una profundidad de 20 cm en cada vértice, y una en el centro de cada parcela, dando un total de 5 submuestras de aproximadamente 625 g cada una. La muestra compuesta obtenida de 3125 g fue almacenada en bolsas herméticas, de los cuales 1000 g fueron dispuestos para análisis de laboratorio, 1000 g para uso como sustrato en las CCMs y el material restante fue almacenado a 4°C.

## Características del suelo

Las muestras de suelo fueron analizadas por técnicos especialistas de la Agencia de Regulación y Control Fito y Zoonosanitario (AGROCALIDAD), los parámetros analizados se redactan en la Tabla 2 en la sección de resultados.

## Configuración de las CCM

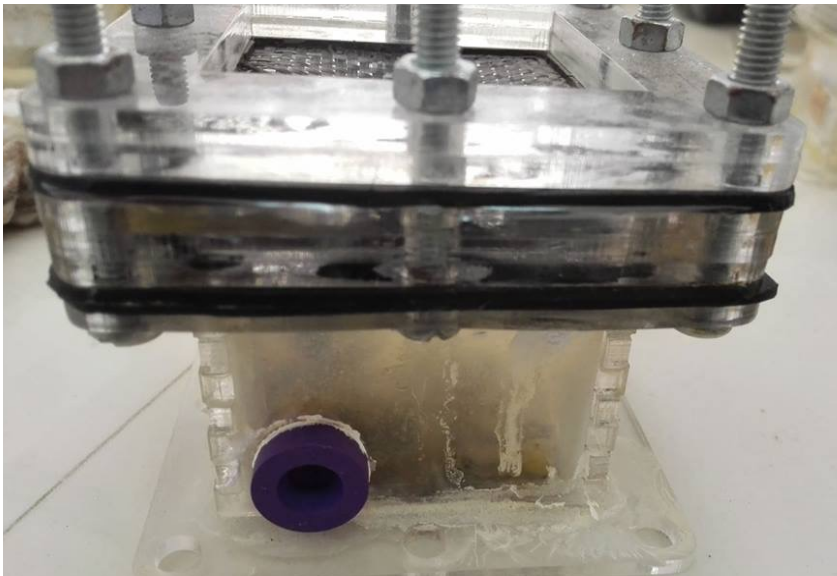
Como ya se mencionó, las celdas de combustible microbiano son dispositivos que utilizan microorganismos para convertir la energía química de un sustrato en energía eléctrica. Y se utiliza los electrones de los microorganismos producidos en su actividad metabólica, los cuales se transfieren a un electrodo (ánodo) en lugar de un aceptor natural de electrones (como el oxígeno). El dispositivo se compone de una cámara anódica anaerobia y una catódica aerobia, separadas por una fibra de carbono donde se forma la biopelícula microbiana. La materia orgánica contenida en la cámara anódica se oxida, y se generan electrones y protones de manera proporcional, los electrones se remueven rápidamente por acción de la biopelícula en el circuito eléctrico de la celda, mientras que los protones se desplazan fuera de la biopelícula para dirigirse hacia el cátodo [7]. Además, los electrones generados se ubican en la parte externa de la superficie celular esperando a un aceptor final, Figura 2, [8,9].



**FIGURA 2.** Prototipo esquemático de CCM utilizado para generar bioelectricidad a partir de residuos orgánicos.

La configuración final muestra el cátodo parcialmente expuesto al aire, la cámara es de acrílico traslúcido de 3 mm de espesor.

La cámara anódica es un cubo de 5 cm de arista, en dos de sus caras se colocaron tapones de caucho para el suministro de nutrientes y la purga de aire del interior, en su parte superior se colocó fibra de tejido de carbono como membrana de captación de electrones. El cátodo se estructuró a partir de cinco láminas de material similar a la cámara anódica dispuestas una sobre otra, en cuyo espacio superior se introdujo fibra de carbono expuesta al aire. La cámara anódica y catódica fueron fijadas una a otra mediante tornillos galvanizados de 4 cm de longitud, Figura 3.



**FIGURA 3.** CCM de configuración simple.

## Sustrato Orgánico

El sustrato constituye el combustible a partir del cual se genera la energía. En los primeros años, sustratos simples como glucosa y acetato eran de uso general, pero en los últimos años las investigaciones se centran en la utilización de sustratos menos convencionales con el fin de utilizar la biomasa presente en aguas residuales de diverso tipo y adicionalmente depurarlas y generar energía [10].

Para este caso se empujó una combinación de residuos sólidos de frutas y vegetales en relación 50:50 en peso. Se colocaron 1,5 g de frutas en proporciones iguales (Naranja: *Citrus sinensis*, Banano: *Musa acuminata* y Manzana: *Pyrus malus*) junto con una mezcla de verduras (Vaina de arveja: *Pisum sativum*, Haba: *Vicia faba*, Zapallo: *Cucurbita máxima*). Estos residuos fueron obtenidos del Mercado Popular “La Condamine” de la ciudad de Riobamba, los cuales fueron triturados hasta obtener un diámetro aproximado de 3 mm.



## Preparación de la cámara anódica

El inóculo utilizado en la cámara anódica de las CCMs provino de suelos de páramo no intervenido que, generaron valores de voltaje relevantes en investigaciones anteriores [5]. Se pesó 3 g de suelo para mantener una relación de 1:1 de la mezcla frutas-vegetales, dicha relación ya se utilizó en un estudio anterior, mostrando buenos resultados [11].

Los minerales fueron suministrados a la cámara anódica a partir de una solución constituida por 5 mL de cloruro de sodio al 0,9% aforadas con agua destilada hasta 100 mL, y de esta se dotaron 5 mL a cada una de las celdas empleadas en la investigación.

## Sistema de adquisición de datos

La lectura y almacenamiento de datos de voltaje generados por las CCMs fueron obtenidas por un sistema de adquisición de datos conformado por una DAQ NI USB-6009 de 8 entradas y 14 bits operada bajo un modelo de recolección digital ejecutado por el software LabView, con un intervalo de recolección de datos de sesenta segundos por un período de 15 días de monitoreo, considerando a cada lapso de 24 horas como un ciclo independiente.

## Preparación de las CCM para el monitoreo

### Esterilización

Los materiales empleados en la construcción de las CCMs fueron sumergidos en una solución de hipoclorito de sodio al 5% durante 60 minutos. Al cabo de este tiempo, dichos componentes fueron lavados usando agua comercial para nuevamente ser sumergidos en esta por 24 horas.

### Pre-tratamiento de la membrana

Para eliminar todas las impurezas presentes en el tejido de fibra de carbono, se inició con el corte de la fibra, formando cuadrados de 8x8 cm, a continuación, estos fueron sumergidos en acetona industrial por un lapso de 12 horas, al concluir este tiempo, los cortes fueron lavados cinco veces con agua destilada para eliminar los sobrantes del disolvente, luego se sumergió la fibra en una solución de peroxodisulfato de amonio, previamente preparada con 50 g del soluto en 250 mL de agua, por 15 minutos, este procedimiento se repitió con 100 mL de ácido sulfúrico al 96%. Para finalizar, se calentaron los cortes de fibra a 450°C en un horno mufla por 30 minutos, se lavaron en agua destilada y se almacenaron en bolsas herméticas hasta su utilización. Paralelamente, las fibras que formaron parte de los cátodos, fueron tratadas únicamente con enjuagues de agua destilada [12].

### Síntesis de Magnetita

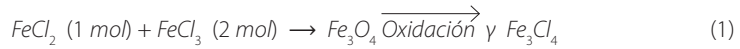
Para una mayor conversión de viruta de hierro a  $FeCl_2$ , se obtuvo cloruro ferroso, para lo cual se sumergió 100 g de viruta de hierro, en 500 mL de una solución 7,4 M de HCl, a 80°C por tres horas, luego se dejó reposar hasta alcanzar la temperatura ambiente [13].

De forma simultánea, se preparó una solución usando 0,85 mL de HCl a una concentración 12,1 M y 25 mL de agua destilada, la cual fue burbujeadada con nitrógeno por 30 minutos. Se añadió 13 mL de  $FeCl_3$  al 40% y 14,2 mL de  $FeCl_2$  en la solución anterior. Se agitó vigorosamente con ayuda de una varilla de vidrio y se adicionó 250



mL de una solución de NaOH 1,5 M gota por gota. Para la recolección del precipitado se utilizó un imán de neodimio y se desechó el sobrenadante. El precipitado obtenido se lavó con agua destilada, se centrifugó a 4000 rpm por 10 minutos, y se repitió tres veces. Finalmente, el producto resultante se secó en un horno mufla a 70°C por 12 horas [14].

Las cantidades de los reactivos de hierro se establecieron de acuerdo a la ecuación (1):



Para determinar el tamaño de partícula obtenido, se observó bajo un microscopio electrónico (ME) y se analizó en el espectrofotómetro IR donde se precisó su composición.

### Síntesis de Grafeno

A partir de 0,625 g polvo de grafito de alta pureza (PGAP), se diluyó en 5 mL de N-metil-2-pirrolidona NMP, luego se sometió a baño ultrasónico por 6 horas.

El grafeno resultante se dividió en cuatro partes iguales, se colocó en los electrodos de las CCMs, y luego se esparció el material a lo largo de la fibra de carbono mediante abrasión hasta obtener una capa uniforme y delgada. Finalmente, se retiró el exceso de material y se almacenó los ánodos en bolsas herméticas. Una de las membranas se observó bajo el Microscopio Electrónico de Barrido (MEB) hasta una amplitud de 5 µm.

### Análisis de sustratos

Luego de quince días de monitoreo, se secó el sustrato resultante de cada una de las celdas por 24 horas a 105°C, y se colocó 15 mg de cada uno en pequeñas cápsulas de plata.

Las muestras preparadas se analizaron en el Equipo THERMO Combustion Flash 2000 Organic Elemental Analyzer bajo el método C, H, N, S Soil Analyzer. Finalmente, los cromatogramas resultantes fueron interpretados por el software Eager 300 EA1112 propio del equipo. La mixtura empleada como sustrato, se analizó antes de su uso en las celdas de combustible bajo el mismo proceso.

### Diseño experimental

El diseño de investigación es de un factor con cuatro niveles, evaluado en tres réplicas cada uno, (Tabla 1) y se trabajó con un total de 12 unidades experimentales.

**TABLA 1.** Diseño experimental

Factor (Material)	Repeticiones		
	1	2	3
1.Grafeno (G)	Grafeno 1 (G1)	Grafeno 2 (G2)	Grafeno 3 (G3)
2.Magnetita (M)	Magnetita 1 (M1)	Magnetita 2 (M2)	Magnetita 3 (M3)
3.Blanco (B)	Blanco 1 (B1)	Blanco 2 (B2)	Blanco 3 (B3)
4.Blanco con imán (BC)	Blanco con imán 1 (BC1)	Blanco con imán 2 (BC2)	Blanco con imán 3 (BC3)



## Eficiencia

La eficiencia de las CCMs se determinó en base a los niveles de degradación del sustrato y la densidad de potencia producida. Con los valores de voltaje (V) obtenidos a lo largo del monitoreo de las CCMs, se calculó la intensidad de corriente generada a partir de la Ley de Ohm. Ecuación (2):

$$I = \frac{V}{R} \quad (2)$$

Donde la resistencia externa (R) considerada fue de 1000  $\Omega$ . Una vez obtenidos los valores de intensidad, se determinó la densidad de potencia generada a partir de la ecuación (3):

$$DP = \frac{U \cdot I}{A} \quad (3)$$

Donde (U) representa el voltaje generado en voltios, (I) la intensidad de corriente representada en amperios y (A) el área de la membrana de la cámara anódica en  $m^2$ . Para definir los niveles de degradación del sustrato, se utilizó el equipo THERMO Combustion Flash 2000 Organic Elemental Analyzer, tomando valores antes y después de su paso por las CCMs.

## RESULTADOS

### Análisis físico-químico del inóculo usado

**TABLA 2.** Análisis del inóculo

Parámetro Analizado	Método	Unidad	Resultado	Referencia		
				Bajo	Medio	Alto
pH	Electrométrico PEE/SFA/06 EPA 9045d	...	5,33			
Materia Orgánica	Volumétrico PEE/SFA/09	%	13,73	< 1,0	1,0 – 2,0	> 2,0
Nitrógeno	Volumétrico PEE/SFA/09	%	0,69	0 -0,15	0,16 – 0,3	> 0,31
Fósforo	Colorimétrico PEE/SFA/11	mg/kg	<3,5	0 – 10,0	11,0 – 20,0	> 21,0
Potasio	absorción atómica PEE/SFA/12	cmol/kg	0,30	< 0,2	0,2 – 0,38	> 0,4
Calcio	absorción atómica PEE/SFA/12	cmol/kg	6,07	< 1,0	1,0 – 3,0	> 3,0

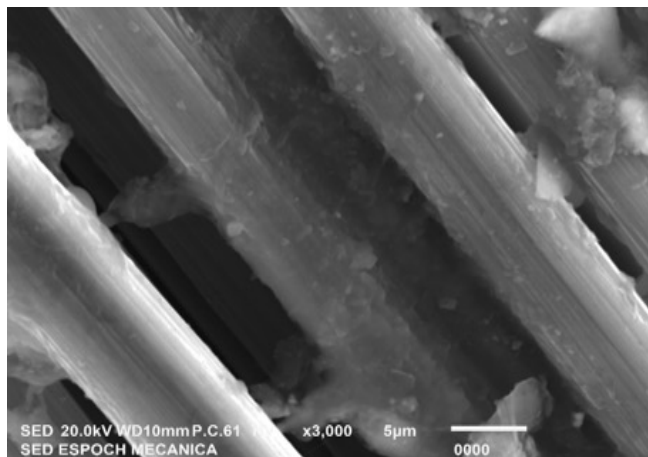
Parámetro Analizado	Método	Unidad	Resultado	Referencia		
				Bajo	Medio	Alto
Magnesio	absorción atómica PEE/SFA/12	cmol/kg	1,23	< 0,33	0,34 – 0,66	> 0,66
Hierro	absorción atómica PEE/SFA/13	mg/kg	406,8	0 – 20,0	21,0 – 40,0	> 41,0
Manganeso	absorción atómica PEE/SFA/13	mg/kg	32,71	0 – 5,0	6,0 – 15,0	> 16,0
Cobre	absorción atómica PEE/SFA/13	mg/kg	7,81	0 – 1,0	1,1 – 4,0	> 4,1
Zinc	absorción atómica PEE/SFA/13	mg/kg	6,87	0 – 3,0	3,1 – 6,0	> 6,1

A partir de estas muestras se analizó la conductividad y porcentaje de humedad dando como resultado 100,1  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y 77,9% respectivamente.

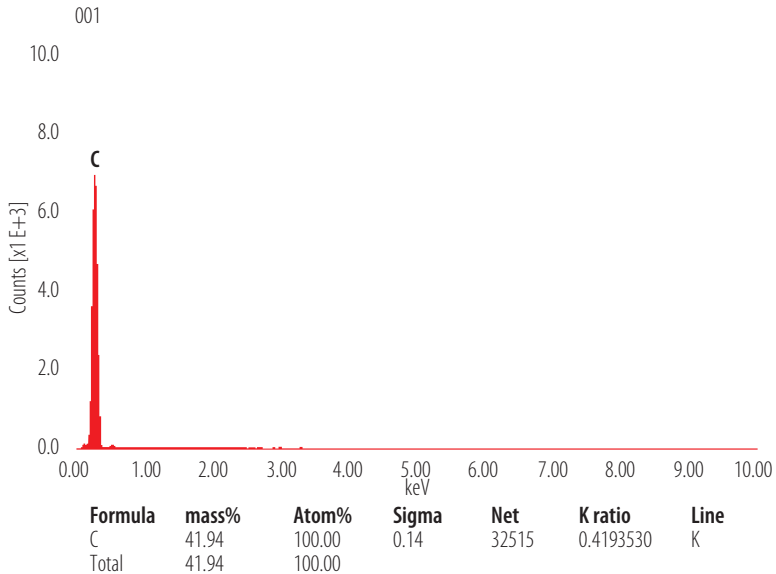
### Materiales sintetizados para la membrana de la cámara anódica

#### Grafeno

Se obtuvo 0,605 g de grafeno que se observó en el ME, (Figura 4) y el análisis espectroscópico determinó la concentración única de carbono en su composición, (Figura 5).



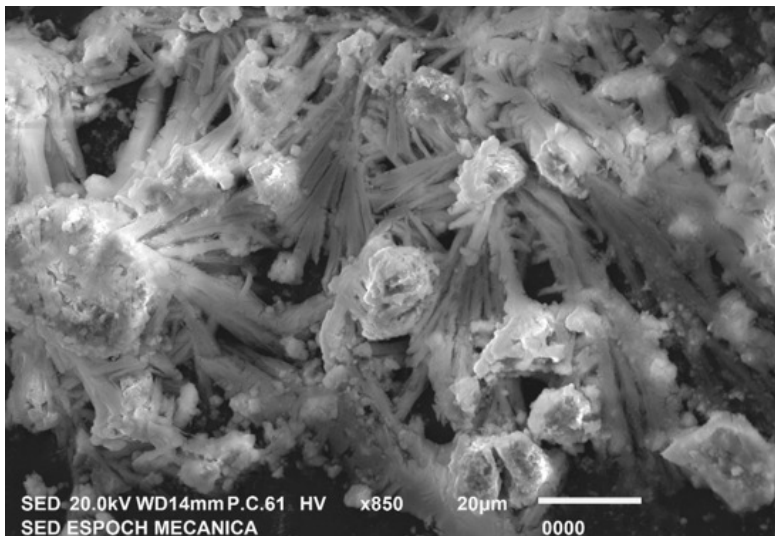
**FIGURA 4.** Presencia de grafeno en la membrana visto en MEB



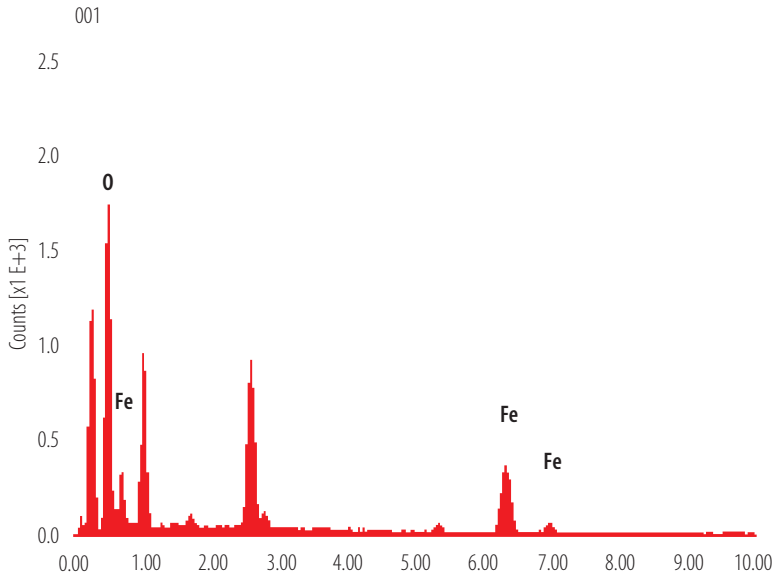
**FIGURA 5.** Cromatograma de grafeno

### Magnetita

Al final de la síntesis de magnetita se obtuvieron 11,75 g de magnetita; en la Figura 6 se aprecia la estructura de este compuesto bajo observación en el MEB, donde las láminas obtenidas son de aproximadamente 20  $\mu\text{m}$ , mientras que en la Figura 7 se aprecia el cromatograma en el cual se indica su composición.



**FIGURA 6.** Magnetita vista en MEB



**FIGURA 7.** Cromatograma de magnetita

## Densidad de Potencia

La Tabla 3, representa la codificación de las CCMs utilizada.

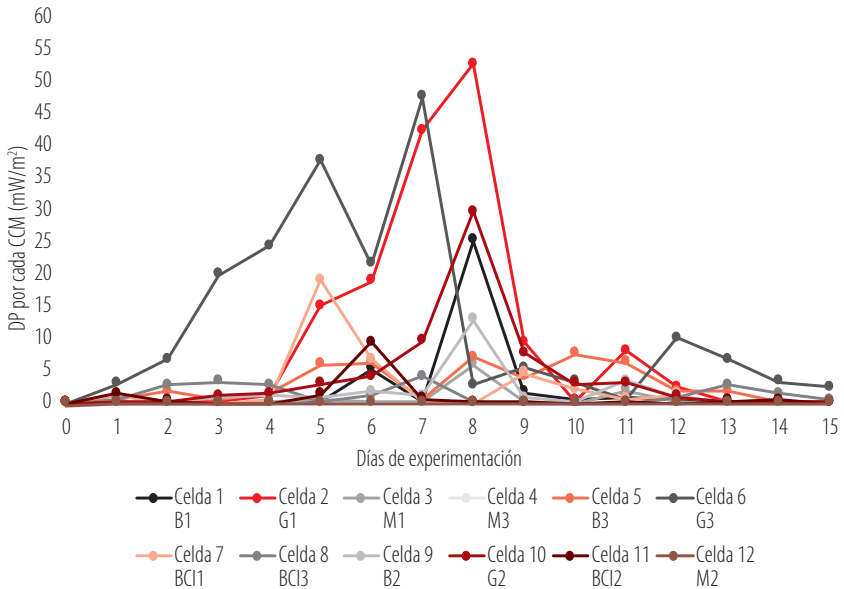
**TABLA 3.** Correspondencia de celdas y tratamientos

Blanco	B1	Celda 1
Grafeno	G1	Celda 2
Magnetita	M1	Celda 3
Magnetita	M3	Celda 4
Blanco	B3	Celda 5
Grafeno	G3	Celda 6
Blanco + Imán	BCI1	Celda 7
Blanco + Imán	BCI3	Celda 8
Blanco	B2	Celda 9
Grafeno	G2	Celda 10
Blanco + Imán	BCI2	Celda 11
Magnetita	M2	Celda 12
Sustrato Inicial	SI	



## Producción de bioelectricidad

La densidad de potencia (DP) se obtuvo mediante la interacción entre voltaje e intensidad, relacionadas con el área de la cámara anódica ( $0,025 \text{ m}^2$ ), de acuerdo a la ecuación (3); la Figura 8 muestra los valores expresados en  $\text{mW}/\text{m}^2$  por cada una de las CCMs por el lapso de 15 días con datos promedios diarios registrados cada minuto.



**FIGURA 8.** Valores de densidad de potencia

Los valores más altos de densidad de potencia se registran en la celda dos, cuyo pico máximo fue el octavo día con un dato cercano a  $52,675 \text{ mW}/\text{m}^2$ ; y la celda seis, con su valor máximo de  $47,50 \text{ mW}/\text{m}^2$ , el séptimo día de monitoreo.

Las celdas tres, cuatro y doce correspondientes a los tratamientos con magnetita mostraron los valores más bajos de densidad de potencia, y menor producción de bioelectricidad. Sus valores DP máximos son de  $5,96 \text{ mW}/\text{m}^2$ ,  $0,0491 \text{ mW}/\text{m}^2$  y  $0,0518 \text{ mW}/\text{m}^2$  respectivamente.

## Análisis elemental de sustratos empleados

Los análisis se realizaron en el Laboratorio de Protección Ambiental-ESPOCH, usando el Equipo FLASH 2000, los elementos bajo análisis se organizan en la Tabla 4.

**TABLA 4.** Análisis elemental de sustratos

Tratamiento	Peso de muestra (mg)	N (%)	C (%)	H (%)	S (%)
G1	14,1	3,90	8,27	33,86	0,25
G2	13,7	4,05	7,97	29,66	0,27
G3	13,7	3,86	8,01	33,87	0,28
B1	14,4	4,00	9,27	36,11	0,28
B2	13,6	4,04	8,92	32,17	0,27
B3	13,7	4,04	9,21	32,99	0,26
M1	14,2	4,09	9,87	37,58	0,28
M2	14,6	3,95	8,91	33,19	0,26
M3	14,4	4,05	9,68	33,68	0,26
BCI1	13,8	4,00	9,14	33,54	0,27
BCI2	14,6	4,11	9,57	33,88	0,26
BCI3	13,8	3,93	9,39	33,86	0,27
SI	15,5	4,31	12,49	42,99	0,30

### Comparación de tratamientos

Se usó la prueba no paramétrica de kruskal-wallis, luego de la prueba de normalidad. Los valores obtenidos se registran en la Tabla 5.

**TABLA 5.** Prueba de kruskal-wallis

	Rangos			Estadísticos de prueba	
	N_Material	N	Rango promedio	Voltaje	
Voltaje	1.Grafeno	45	132,91	<b>H de Kruskal-Wallis</b>	81,021
	2.Magnetita	45	36,23		<b>gl</b>
	3.Blanco	45	102,41	<b>Sig. asintótica</b>	0,000
	4.Blanco Cl	45	90,44		
	<b>Total</b>	180			

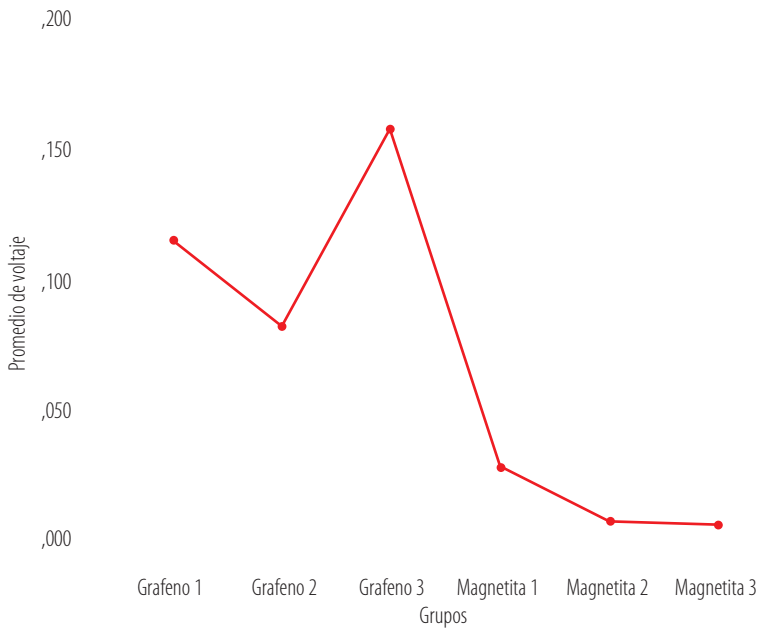
### Relación entre grafeno y magnetita

Se realizó una comparación por pares usando las pruebas de wilcoxon y mann-whitney con un nivel de significancia de  $\alpha=0,05$ , donde al menos una de las medias de los tratamientos de grafeno1, 2 y 3, magnetita 1, 2 y 3 fue a causa de un rendimiento diferente, que se detalla en la Tabla 6.

**TABLA 6.** Prueba de suma de rangos Wilcoxon y Mann-Whitney para grafeno y magnetita.

		Rangos			Estadístico de prueba	
		N_Material	N	Rango promedio	Suma de rangos	Voltaje
Voltaje	1.Grafeno	45	66,40	2988,00	<b>U de Mann-Whitney</b>	72,000
	2.Magnetita	45	24,60	1107,00	<b>W de Wilcoxon</b>	1107,00
	Total	90			<b>Z</b>	-7,597
					<b>Sig. asintótica (bilateral)</b>	0,000

La Figura 9 representa el voltaje obtenido por cada muestra de grafeno, y el grafeno 3 fue el más efectivo para obtener el voltaje; mientras que el tratamiento magnetita 2 y magnetita 3 fueron los menos efectivos.



**FIGURA 9.** Voltaje promedio generado por los materiales en la membrana

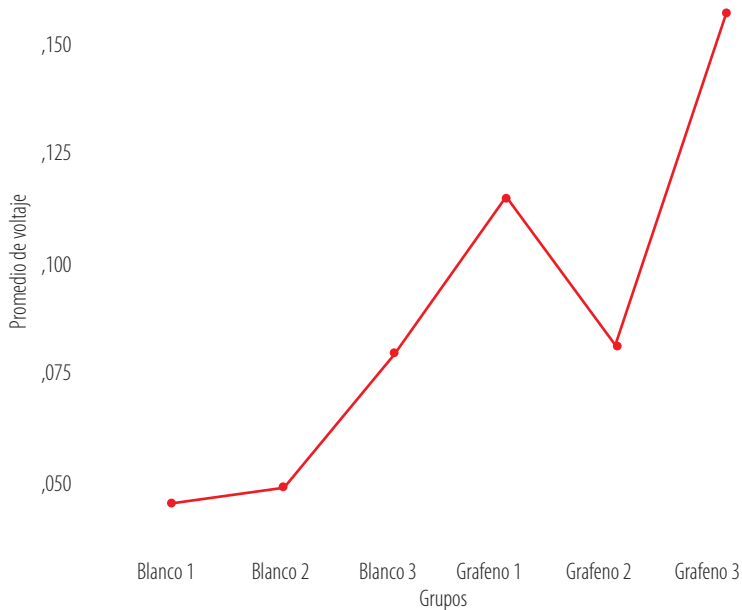
### Relación entre grafeno y blanco

El valor de significancia de la prueba de wilcoxon (0,001) muestra que al menos uno de los tratamientos de blanco 1, 2 y 3, grafeno1, 2 y 3 tras el paso del tiempo, fue diferente. Tabla 7

**TABLA 7.** Prueba de suma de rangos Wilcoxon y Mann-Whitney para grafeno y blanco

		Rangos			Estadístico de prueba		
		N_Material	N	Rango promedio	Suma de rangos	Voltaje	
Voltaje	1.Grafeno	45		54,96	2473,00	<b>U de Mann-Whitney</b>	
	3.Blanco	45		36,04	1622,00	<b>W de Wilcoxon</b>	
	Total	90				<b>Z</b>	
						<b>Sig. asintótica (bilateral)</b>	,001

La muestra de grafeno 3 genera una mayor producción de voltaje y el blanco 1 la menor.



**FIGURA 10.** Comparación de medias de tratamientos (grafeno-blanco)

### Relación entre grafeno y blanco con imán

El p-valor de la Tabla 8 muestra un nivel inferior a 5, por lo tanto, al menos uno de los tratamientos de blanco con imán 1, 2 y 3, grafeno1, 2 y 3 tras el paso del tiempo, fue diferente.

**TABLA 8.** Prueba de suma de rangos Wilcoxon y Mann-Whitney para grafeno y blanco con imán

		Rangos			Estadístico de prueba	
	N_Material	N	Rango promedio	Suma de rangos	Voltaje	
Voltaje	1.Grafeno	45	57,56	2590,00	<b>U de Mann-Whitney</b>	470,00
	3.BlancoCl	45	33,44	1505,00	<b>W de Wilcoxon</b>	1505,00
	Total	90			<b>Z</b>	-4,378
					<b>Sig. asintótica (bilateral)</b>	0,000

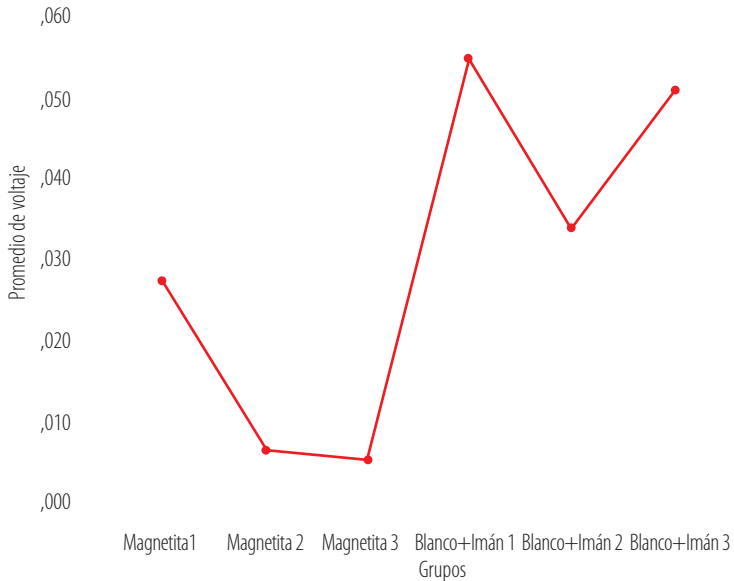
### Relación entre magnetita y blanco con imán

La tabla 9 muestra un p-valor de 0,00 menor a nivel de significancia (0,05), por lo tanto, se menciona que al menos una de las medias de los tratamientos de magnetita 1,2 y 3, blanco con imán 1, 2 y 3 fue diferente para obtener el voltaje.

**TABLA 9.** Prueba de suma de rangos Wilcoxon y Mann-Whitney para magnetita y blanco con imán

		Rangos			Estadístico de prueba	
	N_Material	N	Rango promedio	Suma de rangos	Voltaje	
Voltaje	2.Magnetita	45	30,10	1354,50	<b>U de Mann-Whitney</b>	319,500
	4.BlancoCl	45	60,90	2740,50	<b>W de Wilcoxon</b>	1354,500
	Total	90			<b>Z</b>	-5,602
					<b>Sig. asintótica (bilateral)</b>	0,000

La Figura 11 muestra que el tratamiento de blanco con imán 1 es el más efectivo para obtener el voltaje; mientras que el tratamiento magnetita 3 presentó resultados inferiores



**FIGURA 11.** Comparación de medias de tratamientos (magnetita-blanco con imán)

### Relación entre magnetita y blanco

Finalmente, la Tabla 10 muestra que al menos una de las medias de los tratamientos de magnetita 1, 2 y 3, blanco 1, 2 y 3 fue diferente para obtener el voltaje.

**TABLA 10.** Prueba de suma de rangos Wilcoxon y Mann-Whitney para magnetita y blanco

		Rangos			Estadístico de prueba		
		N_Material	N	Rango promedio	Suma de rangos	Voltaje	
Voltaje	2.Magnetita	45		27,53	1239,00	<b>U de Mann-Whitney</b>	204,000
	3.Blanco	45		63,47	2856,00	<b>W de Wilcoxon</b>	1239,000
	Total	90				<b>Z</b>	-6,532
						<b>Sig. asintótica (bilateral)</b>	0,000

## DISCUSIÓN

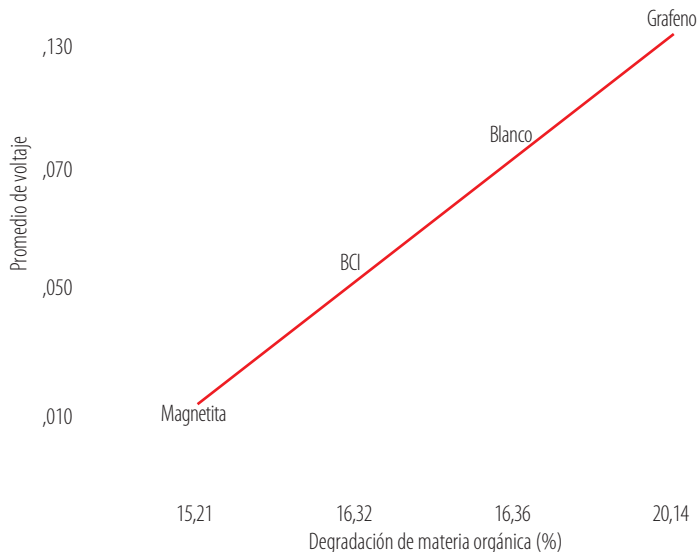
Varios estudios se han enfocado en la generación de energía de una celda de combustible microbiano mediante la optimización de las configuraciones del sistema y los materiales [15], con un progreso significativo en los últimos años. Sin embargo, la salida de potencia de una CCM alcanzada, es todavía insuficiente para una aplicación



práctica. Por eso, los estudios sobre la recolección de energía todavía se encuentran a escala piloto debido a que la energía de salida es insuficiente para conducir electricidad a aparatos electrónicos que funcionan con corriente directa.

En el presente estudio, la densidad de potencia media de las celdas donde se utilizó la membrana de grafeno fue de 9,18 mW/m<sup>2</sup> y un voltaje promedio de 131 mV, representando resultados alentadores comparables a otros estudios [16].

El rendimiento de una CCM está determinado en términos de eficiencia de tratamiento y producción de electricidad, el propósito para la operación de las celdas es siempre obtener valores altos para ambos parámetros, sin embargo, este propósito es complicado alcanzar, porque si bien la eficacia del tratamiento depende de la población total de los microorganismos, la producción de electricidad depende solo del porcentaje de microorganismos electrogénicos dentro de esta población total. Estos microorganismos electrogénicos están en competencia directa con microorganismos anaerobios facultativos y un aumento del volumen de la celda no siempre puede tener un efecto positivo sobre su predominio [3]. De hecho, la formación de biopelículas de microorganismos electrogénicos en la superficie del ánodo; considerando que es el sitio donde ocurre un auge y transporte de electrones; puede verse afectado negativamente por esta competencia, especialmente si los microorganismos contenidos en la materia orgánica triunfan en la pugna por el sustrato. Como se muestra en la Figura 12, los valores de voltaje producidos por cada uno de los tratamientos, considerando que no existió ciclos de alimentación en el transcurso del experimento, llevando a cabo una alimentación a modo Bach, se puede establecer el cumplimiento sobre la relación entre la degradación de sustratos y producción de voltaje [17].



**FIGURA 12.** Voltaje en función de la degradación



Como era de esperar, las tasas de eliminación de materia orgánica y la producción de voltaje muestran un mismo comportamiento. Los materiales sobreexpuestos sobre el compartimento anódico indican una mayor producción de voltaje. En el caso de grafeno, una degradación mayoritaria de la materia orgánica en comparación a sus grupos control. En la cámara anódica; de las celdas en las que se añadió grafeno presentaron una densidad de potencia 3,8 veces mayor a las que no poseían este material [9].

Las doce pruebas muestran las mismas tendencias con un aumento en el voltaje de salida desde la etapa de inicio hasta un estado estable y de declinación, esta fluctuación es característica de los procesos biológicos y puede ser explicada de acuerdo a un efecto de crecimiento microbiano donde se puede apreciar que la fase de latencia duró aproximadamente 4 días en donde las celdas tuvieron un crecimiento discreto en su mayoría, para luego de esto experimentar una fase exponencial donde los picos máximos alcanzados fluctuaban entre los 7 y 10 días de monitoreo, posterior, se evidenció una ligera etapa estacionaria de hasta 2 días de duración, para luego descender abruptamente con valores de voltaje cercanos a cero, marcando así presumiblemente la fase de muerte celular.

Cuando las CCMs con grafeno generaba una densidad de potencia de salida máxima de  $52,67 \text{ mW/m}^2$ : sus parámetros químicos mostraban una reducción promedio de 8,60% de N, 35,29% de C, 24,49% de H y 12,16% de S. La tasa de consumo promedio para las CCMs de magnetita fue de 6,44% de N, 24,05% de C, 19,02% de H y 11,35% de S; mientras que su densidad de potencia en su máxima expresión presentaba valores de  $5,96 \text{ mW/m}^2$ . Al comparar las diferentes pruebas, hay una clara influencia del compartimento anódico en el caso donde se utilizó grafeno tanto para una eficiencia de tratamiento y producción de bioelectricidad.

Hay diferencias entre la celda operada con grafeno con respecto a la magnetita en relación a sus biomoléculas de sustratos analizadas entre que se aprecia una mayor degradación de C, H, N, S, sugiriendo un papel muy importante de los microorganismos fijados en el compartimento anódico. Por otra parte, la síntesis de las nanopartículas de magnetita, sin una adecuada purificación, conlleva a la presencia de ácidos en su estructura lo que afecta al desarrollo del inoculo bacteriano en la cámara anódica, además que acidifica el medio [6].

Este concepto de electronegatividad por parte de los elementos analizados a nivel de traza por cada uno de los tratamientos propuestos es útil para discernir en una estructura que en ciertas regiones son posiblemente más ricas en electrones, a razón de mencionar que compuesto es significativamente iónico o no y en este caso en especial determinar si el requerimiento nutricional fue el más adecuado.

Se encontró que la fracción de C, H, N, S consumida por los microorganismos electrogénicos disminuyen 35,29, 24,49, 8,60 y 12,16% respectivamente en las pruebas con grafeno. Esto claramente indica una mayor población asociada al electrodo de superficie promovida por el uso del material esparcido como tal en el que otros organismos puedan competir por el sustrato. Es importante señalar que la prueba realizada con grafeno da un mejor rendimiento que la prueba realizada con la magnetita, una baja carga de N y S conduce a un aumento significativo de densidad de potencia,





además que las densidades máximas de potencia de grafeno fueron 42 veces más altas que la alcanzada con magnetita.

Por lo tanto, los resultados mostrados demuestran que hay una clara influencia del material espolvoreado en la membrana anódica en la producción de electricidad y en el consumo de sus elementos químicos más básicos. De esta manera se asemeja a lo mencionado en estudios donde resalta la biocompatibilidad del grafeno con las celdas de combustible microbiano y la facilidad de descomposición del sustrato [18].

Según investigaciones la mayor degradación de sustratos en este tipo de condiciones puede darse bajo una relación C/N menor a 2,8 [19], lo que contrasta con otros estudios donde se determina una degradación cercana al 60% con una relación C/N de 31,4 [20]. Por otra parte, en este estudio, todas las celdas fueron inicialmente constituidas con una relación C/N de 2,89.

## CONCLUSIONES

La membrana de intercambio de la cámara anódica con grafeno añadido presenta una densidad de potencia 42 veces mayor que la obtenida con su similar de magnetita, por su parte la degradación de los sustratos es 1,34 veces superior en las celdas con el material compuesto de carbono en relación al material obtenido a partir de óxidos de hierro.

Se encontró mayores niveles de voltaje en celdas con membranas de grafeno en relación a las de magnetita, por lo tanto, se comprueba un mayor rendimiento de grafeno contrastado con magnetita como membranas de intercambio de electrones.

Las celdas de combustible microbianas que poseían grafeno añadido en la membrana de la cámara anódica produjeron mayor cantidad de voltaje promedio (131 mV), lo que incurrió también en valores superiores de densidad de potencia (9,17 mW/m<sup>2</sup>), además lograron una mejor degradación de los sustratos a comparación de las celdas que presentaron magnetita en el bioánodo, las cuales, además, mostraron una inferior generación de voltaje (14 mV) por consecuencia su densidad de potencia también fue menor cercana a 0,22 mW/m<sup>2</sup>.

El voltaje producido por las CCMs se incrementó a medida que la degradación de los sustratos fue mayor, aproximadamente 14 mV por cada punto porcentual de degradación, por ende, la remoción de la mezcla 50:50 (frutas-verduras) a causa de los microorganismos electrogénicos presentes en el interior de la cámara anódica, permitió la liberación de electrones, los cuales establecieron un flujo a través de las membranas de las estructuras de las celdas dando paso a la transformación electroquímica de material orgánico a bioelectricidad.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo a esta investigación, a los Técnicos Investigadores de los laboratorios de Biotecnología y Protección Ambiental de la Facultad de Ciencias y en



especial al Sr. Miguel Ángel Pérez por el desarrollo e implementación de esta propuesta reflejada en su Trabajo de Titulación, guiada por el Grupo de Investigación GIDAC de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

## CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Magdy Echeverría: revisión crítica del contenido y validación del diseño del experimento aplicado. Cristina Calderón: redacción y revisión crítica del contenido intelectual del manuscrito. Alex Guambo: mentalizador de la investigación, diseñador del experimento, gestor en la adquisición de los datos estadísticos y redactor del manuscrito.

## CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran que esta investigación fue conducida en la ausencia de relaciones comerciales o financieras que pudieran constituir un potencial conflicto de interés.

## REFERENCIAS

- [1] Jiang, Y., Liang, P., Zhang, C., Bian, Y., Sun, X., Zhang, H., . . . Huang, X. (2016). Periodic polarity reversal for stabilizing the pH in two-chamber microbial electrolysis cells. *Applied Energy*, 165, 670–675. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.01.001>
- [2] Park, J.-D., & Ren, Z. (2011). Efficient energy harvester for microbial fuel cells using DC/DC converters. In 2011 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (pp. 3852–3858). IEEE. doi: <https://doi.org/10.1109/ECCE.2011.6064292>
- [3] Logroño, W. N., Echeverría, M. M., Recalde, C. G., & Graziani, P. (2015). Bioconversion of organic solid wastes with soils from the Amazonian and high Andean regions of Ecuador in single chamber microbial fuel cells | Bioconversión de residuos sólidos orgánicos con suelos de la región Amazónica y alto andina del Ecuador en celd. *Información Tecnológica*, 26(2), 61–68. doi: <https://doi.org/10.4067/S0718-07642015000200008>
- [4] Logroño, W., Guambo, A., Pérez, M., Kadier, A., & Recalde, C. (2016). A terrestrial single chamber microbial fuel cell-based biosensor for biochemical oxygen demand of synthetic ricewashed wastewater. *Sensors*, 16(1), 101. doi: <https://doi.org/10.3390/s16010101>
- [5] Rabaey, K., & Verstraete, W. (2005). Microbial fuel cells: Novel biotechnology for energy generation. *Trends in Biotechnology*, 23(6), 291–298. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2005.04.008>
- [6] Nakamura, R., Kai, F., Okamoto, A., Newton, G., & Hashimoto, K. (2009). Self-Constructed Electrically Conductive Bacterial Networks. *Angewandte Chemie International Edition*, 48(3), 508–511. doi: <https://doi.org/10.1002/anie.200804750>
- [7] Gámez, E. (2016). Evaluación De La Eficiencia De Operación De Una Celda Microbiana De Biocombustible Utilizando Sistemas Electrónicos. UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO. Retrieved from <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/jspui/bitstream/132.248.52.100/9981/3/Tesis.pdf%0Ahttp://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/9981/Tesis.pdf?sequence=3>
- [8] Lovley, D. R. (2008). Extracellular electron transfer: wires, capacitors, iron lungs, and more. *Geobiology*, 6(3), 225–231. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1472-4669.2008.00148.x>
- [9] Sun, H., Xu, S., Zhuang, G., & Zhuang, X. (2016). Performance and recent improvement in microbial fuel cells for simultaneous carbon and nitrogen removal: A review. *Journal of Environmental Sciences*, 39, 242–248. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jes.2015.12.006>
- [10] Revelo, D. M., Hurtado, N. H., & Ruiz, J. O. (2013). Celdas de Combustible Microbianas (CCMs): Un Reto para la Remoción de Materia Orgánica y la Generación de Energía Eléctrica. *Información Tecnológica*, 24(6), 7–8. doi: <https://doi.org/10.4067/S0718-07642013000600004>
- [11] Logroño, W., Ramírez, G., Recalde, C., Echeverría, M., & Cunachi, A. (2015). Bioelectricity generation from vegetables and fruits wastes by using single chamber microbial fuel cells with high Andean soils. *Energy Procedia*, 75, 2009–2014. doi: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.07.259>
- [12] Feng, Y., Yang, Q., Wang, X., & Logan, B. E. (2010). Treatment of carbon fiber brush anodes for improving power generation in air–cathode microbial fuel cells. *Journal of Power Sources*, 195(7), 1841–1844. doi: <https://doi.org/10.1016/J.JPOWSOUR.2009.10.030>
- [13] Rivera Hernández, J. Rosario, & Lomelí Soto, Juana María, & Reyes Palomino, Adolfo, & Cruz Velásquez, Juan José (2003). Obtención a nivel laboratorio de cloruro ferroso a partir de residuos de hierro. *Conciencia Tecnológica*, (23), ISSN: 1405-5597. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=94402304>
- [14] Liu, P., Liang, P., Jiang, Y., Hao, W., Miao, B., Wang, D., & Huang, X. (2018). Stimulated electron transfer inside electroactive biofilm by magnetite for increased performance microbial fuel cell. *Applied Energy*, 216(January), 382–388. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.01.073>
- [15] Franks, A. E., & Nevin, K. P. (2010). Microbial fuel cells, a current review. *Energies*, 3(5), 899–919. doi: <https://doi.org/10.3390/en3050899>
- [16] Yu, F., Wang, C., & Ma, J. (2018). Capacitance-enhanced 3D graphene anode for microbial fuel cell with long-time electricity generation stability. *Electrochimica Acta*, 259, 1059–1067. doi: <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2017.11.038>



- [17] Rahimnejad, M., Adhami, A., Darvari, S., Zirepour, A., & Oh, S.-E. (2015). Microbial fuel cell as new technology for bioelectricity generation: A review. *Alexandria Engineering Journal*, 54(3), 745–756. doi: <https://doi.org/10.1016/j.AEJ.2015.03.031>
- [18] Guo, K., Soeriyadi, A. H., Feng, H., PrévotEAU, A., Patil, S. A., Gooding, J. J., & Rabaey, K. (2015). Heat-treated stainless steel felt as scalable anode material for bioelectrochemical systems. *Bioresource Technology*, 195, 46–50. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.06.060>
- [19] Kuroda, M., Watanabe, T., & Umedu, Y. (1996). Simultaneous oxidation and reduction treatments of polluted water by a bio-electro reactor. *Water Science and Technology*, 34(9), 101–108. doi: [https://doi.org/10.1016/S0273-1223\(96\)00792-5](https://doi.org/10.1016/S0273-1223(96)00792-5)
- [20] Wang, C.-T., Lee, Y.-C., Liao, F.-Y., Wang, C.-T., Lee, Y.-C., & Liao, F.-Y. (2015). Effect of Composting Parameters on the Power Performance of Solid Microbial Fuel Cells. *Sustainability*, 7(9), 12634–12643. doi: <https://doi.org/10.3390/su70912634>

## Proceso editorial

Por favor, revise estas directrices para preparar su manuscrito, pues todos los manuscritos enviados a la revista ACI Avances en Ciencias e Ingenierías deben cumplirlas. Estas directrices le ayudarán a estar seguro que su manuscrito está completo y que el proceso editorial se conducirá lo más ágil posible.

Asegúrese de revisar el Enfoque y Alcance de ACI Avances en Ciencias e Ingenierías así como nuestros Criterios de Publicación para conocer lo que publicamos.

Lea nuestras Políticas Editoriales, incluyendo las Políticas de Sección, Proceso de Evaluación por Pares, Frecuencia de Publicación, Política de Acceso Abierto, y Requisitos de Autoría.

Todos los autores deben cumplir con los requerimientos de autoría establecidos de la política de Requisitos de Autoría de ACI Avances en Ciencias e Ingenierías. Aquellos que hayan contribuido al trabajo pero que no cumplan estos requisitos puede ser mencionados en los Agradecimientos.

El Autor para correspondencia debe ingresar su identificador único ORCID al momento del envío del manuscrito (óptimamente, todos los doctores del manuscrito deberían contar su propio ORCID). +Info sobre ORCID.

Los nombres de los autores se publicarán exactamente como aparecen en el manuscrito. Por favor revise la información con cuidado para asegurarse de que es correcta.

**ACI Avances en Ciencias e Ingenierías** recibe manuscritos que presentan información original y la evaluación de los manuscritos se realiza a través de un proceso de revisión por pares (*peer-reviewed*) que toma en consideración una determinación objetiva de la robustez científica y metodológica, no en factores subjetivos como “impacto” o “interés”.

Revisar los criterios de publicación de la revista y nuestras políticas del proceso de evaluación por pares en el siguiente enlace:

<http://revistas.usfq.edu.ec/index.php/avances/about/editorialPolicies>

Para la organización de los artículos y comunicaciones, la revista se divide internamente en tres secciones:

Sección A: Ciencias Exactas y Físicas

Sección B: Ciencias Biológicas y Ambientales

Sección C: Ingenierías.

ACI Avances en Ciencias e Ingenierías se adhiere a los lineamientos de autoría de la ICMJE. Revisa más detalles sobre los requisitos de autoría en el siguiente enlace: <http://revistas.usfq.edu.ec/index.php/avances/about/editorialPolicies>

### DIRECTRICES PARA AUTORES/AS

Por favor, revise estas directrices para preparar su manuscrito, pues todos los manuscritos enviados a la revista **ACI Avances en Ciencias e Ingenierías** deben cumplirlas. Estas directrices le ayudarán a estar seguro que su manuscrito está completo y que el proceso editorial se conducirá lo más ágil posible. Asegúrese de revisar el Enfoque y Alcance de ACI Avances en Ciencias e Ingenierías así como nuestros Criterios de Publicación, nuestras Políticas Editoriales, incluyendo las Políticas de Sección, Proceso de Evaluación por Pares, Frecuencia de Publicación, Política de Acceso Abierto, y Requisitos de Autoría en el siguiente enlace: <http://revistas.usfq.edu.ec/index.php/avances/about>

La revista ACI Avances en Ciencias e Ingenierías publica contribuciones en español e inglés, todas son sujetas a un proceso de revisión por pares, y se pueden enmarcar en una de las siguientes categorías:

**Artículo:** Un manuscrito que reporta conclusiones substanciales para el entendimiento de un problema, debiendo ser actualizado y exhaustivo en sus análisis y conclusiones, e incluir el conjunto completo de datos empíricos que soportan las ideas expuestas (se incluyen revisiones sistemáticas de la literatura y meta-análisis). Estos manuscritos usualmente tienen más de 2000 palabras y no hay límite máximo de palabras, figuras o tablas. Estos manuscritos deben tener divisiones con subtítulos (ver sección Organización del manuscrito).

**Comunicación:** Corresponde a un reporte conciso de un tema de investigación específico destinado a la presentación rápida de resultados novedosos pero de interés puntual. El tipo de información reportada es flexible, y puede incluir manuscritos que prueban nuevas metodologías, que describen observaciones de historia natural, o que presentan datos empíricos puntuales y novedosos. Estos manuscritos usualmente tienen menos de 2000 palabras y pueden incluir máximo tres tablas y tres figuras. El texto de estos manuscritos no tiene divisiones (ver sección Organización del manuscrito).

Ciertos manuscritos podrían ser reclasificados entre Artículos y Comunicaciones a discreción de los Editores de la revista y con el permiso del autor.

### PREPARACIÓN DEL MANUSCRITO

**Formato de archivo.** Para el envío inicial, los manuscritos pueden estar en cualquiera de los siguientes formatos: DOC, DOCX., RTF, o PDF.

Si utiliza Mendeley u otro paquete para sus referencias, debe transformar los campos de Mendeley en texto simple.

Se recomienda que los manuscritos que contengan ecuaciones sean producidos en LaTeX. Manuscritos producidos en LaTeX deben ser enviados en formato PDF (si el manuscrito es aceptado, se le solicitará el archivo \*.TEX).

**Tipo de letra.** Times de 12 puntos

Los encabezados deben ir en mayúsculas y centrados (aquellos descritos en la sección Organización del manuscrito).

En caso de incluir subtítulos adicionales a los encabezados, se los colocará en negrillas y con estilo de oración (primera letra en mayúscula y el resto en minúsculas).

El resto del texto no debe tener ningún tipo de formato adicional, excepto colocar palabras en negrillas y en cursiva. No usar tabulaciones, diferentes tamaños de letra, numeración o estilos para subtítulos, etc.

**Diseño de página.** Alineación a la izquierda (no justificado), textos a espacio seguido, hojas tamaño A4, márgenes de 2,5 cm a cada lado.

**Encabezados.** Los encabezados principales se especifican en la sección Organización del manuscrito. Adicionalmente puede haber hasta dos niveles más de subtítulos.

**Números de página.** Todas las páginas deben estar numeradas de manera secuencial en la esquina inferior derecha.

**Notas al pie.** No se debe colocar notas al pie, pues toda la información debe estar en el texto principal o en las referencias.

**Abreviaciones.** Defina las abreviaciones en la primera vez que las usa en el texto (incl. acrónimos, acortamientos, abreviaturas, y siglas).

Mantenga al mínimo el número de abreviaciones. No utilice abreviaciones no estandarizadas al menos que las utilice más de tres veces en el texto.

**Formato de referencias.** Siga el estilo APA (6a edición). Revise las directrices para citas y referencias.

**Ecuaciones.** Manuscritos que contengan ecuaciones se recomienda sean producidos con LaTeX.

Utilizar MathType para generar y desplegar ecuaciones, caso contrario también es adecuado Equation Editor.

Numere las ecuaciones al lado derecho entre paréntesis. Por ejemplo:  $\Delta t = \Delta t_1 + \Delta t_2 + \Delta t_3$  (1)

No utilice MathType o Equation Editor para colocar signos de variables, símbolos griegos, u operadores matemáticos en el texto general del manuscrito. En estos casos, inserte los símbolos como texto normal con los valores Unicode (hex) correctos.

**Lenguaje.** Escriba el texto y las leyendas de tablas y figuras de manera clara y sin ambigüedades, enfocado en una audiencia internacional. Siga las normas de escritura académica establecidas en el campo al cual corresponde el manuscrito.

Manuscritos en Inglés pueden usar Inglés Americano o Inglés Británico pero de manera consistente.

Manuscritos en Español deben seguir las recomendaciones de la Real Academia de la Lengua Española (con excepción del uso de tilde en "et al.").

**Medidas, fechas y hora.** Use el Sistema Internacional de Unidades. Puede usar unidades específicas a la disciplina que no son SI solo cuando estas han sido ampliamente adoptadas en dicho campo científico. Coloque un espacio entre el número y el símbolo de la unidad, no coloque un punto al final del símbolo de la unidad, ejemplo: 4 km

Las fechas deben indicarse como Día Mes Año. No abrevie el mes. Ejemplo: 12 de febrero 2015, 14 January 2013

La hora debe seguir el formato de 24 horas, ejemplo: 13h00

**Numeración y porcentajes.** Escribir los números del 1 al 9 en palabras, a menos que sean unidades.

No incluya un espacio entre el valor y el símbolo de porcentaje, ejemplo: 45%

**Coordenadas geográficas.** Exprese las coordenadas geográficas en grados decimales. No reporte coordenadas en grados-minutos-segundos o en UTM. Incluya el sistema de referencia geodésico.

Use N/S para denotar latitud y E/W para denotar longitud, independiente el idioma del manuscrito.

### Nomenclatura

**Nombres científicos de especies** se escriben en cursiva. Escriba el género y la especie de manera completa en el título del manuscrito y la primera vez que mencione al organismo en el texto, abstract, resumen, y leyendas de tablas y figuras. Así mismo, escriba el género completo cada vez que lo mencione por primera ocasión en un párrafo o cuando inicie una oración. Luego de la primera mención en el párrafo se puede abreviar género utilizando sólo la primera letra.

**Genes, mutaciones, genotipos o alelos** se escriben en cursiva. Utilice el nombre recomendado consultando la base de datos apropiada de nomenclatura genética. Usualmente es recomendable indicar los sinónimos para el gen la primera vez que aparece en el texto. Los prefijos de genes tales como los usados para oncogenes o la localización celular deben mostrarse en caracteres de tipo romano (e.g., v-fes, c-MYC).

**Compuestos químicos** deben tener un nombre sistemático correcto, siguiendo los convenios de la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (IUPAC). Una vez que se ha proporcionado el nombre sistemático, es aceptable definir un nombre común o un acrónimo y para esto ser utilizado para el resto del texto, tablas y figuras. Los nombres generados por ChemDraw u otro software a partir de fórmulas gráficas introducidas deben ser verificados para guiones adicionales y otras desviaciones de las convenciones de la IUPAC. Los nombres sistemáticos o genéricos deben usarse para productos comerciales en lugar de nombres patentados o de marca registrada.

**Sustancias farmacéuticas** deben mencionarse bajo la Denominación Común Internacional (DCI, o INN International Nonproprietary Name)

**Evidencia en estudios biológicos.** Si su manuscrito utiliza datos de organismos biológicos, se debe declarar explícitamente la disponibilidad de la evidencia bajo una de las siguientes opciones:

Especímenes voucher depositados en colecciones científicas abiertas al público (es necesario indicar el nombre de la colección y los números de catálogo de los especímenes).

Secuencias de aminoácidos o genes depositadas en GenBank o un repositorio equivalente (indicando el nombre del repositorio y los códigos de acceso).

Fotografías, grabaciones de audio o video enviadas como parte de las figuras o como material suplementario del manuscrito.

Fotografías, grabaciones de audio o vídeo que han sido depositadas en un repositorio institucional o público (por ejemplo, Macaulay Library, o xeno-canto), para las cuales es necesario indicar el nombre del repositorio y citar el registro usando el formato de citación APA para recursos electrónicos e incluirlo en la sección de Referencias.

La colección de datos de organismos biológicos debe realizarse de acuerdo a la legislación nacional e internacional vigente. Es imprescindible que los permisos de investigación y colección otorgados por las autoridades competentes se indiquen en la sección de Agradecimientos del manuscrito.

**Datos y códigos.** Si su manuscrito se basa en análisis de datos sin procesar (raw data) o códigos, estos deben estar a disposición de los revisores. Por favor, envíelos por una de las siguientes vías:

- Como enlaces a un repositorio donde los datos son accesibles y citados en el manuscrito. Este repositorio puede ser institucional, comercial o de acceso abierto (por ejemplo, figshare o Dryad)
- Como archivos de Material Suplementario.

Si el manuscrito es aceptado, los datos deberán hacerse públicos de tal forma que los datos estén disponibles públicamente para todos los investigadores interesados.

Sin embargo, entendemos que pueden haber restricciones éticas y legales que prohíban la apertura de los datos, por lo que cuando exista legislación o marcos éticos locales que llamen a evitar o limitar la liberación de datos, los autores deben dejar estas limitaciones claras al momento del envío de su manuscrito (en la sección de Comentarios para el editor/a).

Posibles excepciones a la disponibilidad de datos públicos incluyen: datos que no pueden ponerse a disposición del público pues comprometería la confidencialidad o la privacidad del participante; o datos que de ponerse a disposición pública podrían presentar alguna amenaza, como revelar las ubicaciones de depósitos fósiles, especies en peligro de extinción, etc.

Si los datos sin procesar o los códigos pertenecen a terceros y Ud. no tiene permiso para publicarlos, debe presentar la fuente y la verificación del permiso de uso de los datos así como la Información de contacto donde un investigador interesado tendría que aplicar para obtener acceso a los datos pertinentes, en la sección Materiales y Métodos. Sin embargo, tenga en cuenta que los autores son responsables de asegurarse de que los datos estarán disponibles a partir de la publicación, de la misma manera que los autores obtuvieron los datos.

## ORGANIZACIÓN DEL MANUSCRITO

1. La primera página del manuscrito debe incluir las siguientes partes, cada una separada por una línea:
  - **Título del artículo:** En negrillas, con máximo 300 caracteres, debe ser específico, descriptivo, conciso y comprensible para los lectores fuera del campo. Sólo la primera palabra y los nombres propios empiezan con mayúsculas. Puede dividirse en título y subtítulo, separados por el signo de puntuación dos puntos (:). Para revisiones sistemáticas o meta-análisis, el subtítulo debe incluir el diseño del estudio.
  - **Título abreviado:** En negrillas, con máximo 100 caracteres, describe el tópico de estudio. Sólo la primera palabra y los nombres propios empiezan con mayúsculas.
  - **Nombres de los Autores:** Presente los nombres de los autores tanto en la primera página del manuscrito como en la plataforma de la revista. Para cada autor debe incluir el primer nombre, el segundo nombre (o su inicial, si la usa) y los apellidos. Los autores se separan entre sí por comas (no colocar y, and, &).
  - **Afiliaciones:** Cada autor de la lista debe tener una afiliación. La afiliación debe incluir al menos el nombre de la organización o universidad y su ubicación. Las afiliaciones se asociarán con los autores por medio de superíndices numéricos. Múltiples afiliaciones por autor se separarán en líneas diferentes y con superíndices propios. Se marcará al autor responsable del manuscrito con un asterisco junto a los superíndices, asociado con la frase "Autor para Correspondencia / Corresponding Author, e-mail:" seguido por el correo electrónico. Si todos los autores comparten la misma afiliación o si hay un solo autor no usar superíndices numéricos. Si hay un solo autor, no incluir la frase "Autor Principal / Corresponding Author"
  - **Título en idioma alternativo:** Si su manuscrito es en Español, el título alternativo es la traducción en Inglés, y viceversa.
  - **Abstract:** En Inglés, redactado como un párrafo continuo de máximo 400 palabras. Detalla brevemente los principales objetivos del estudio; explica cómo se realizó el estudio, incluyendo cualquier organismo modelo utilizado, pero sin entrar en detalles metodológicos; resume los resultados más importantes y su significado. No debe incluir citas bibliográficas ni abreviaciones y no debe estar separado en párrafos.
  - **Key words:** Máximo 10 palabras o grupos de palabras en Inglés. Deben ser diferentes a lo que aparece en el título del manuscrito.
  - **Resumen:** Es la traducción al Español del Abstract, y tiene sus mismas características.
  - **Palabras clave:** Máximo 10 palabras o grupos de palabras en Español. Deben ser diferentes a lo que aparece en el título del manuscrito.



- Se puede incluir un tercer resumen en Portugués, Francés, Italiano, Alemán u otra lengua, si lo considera necesario.
2. Desde la siguiente página se presentarán el texto organizado por encabezados, luego las tablas y las figuras del manuscrito. La organización dependerá del tipo de contribución. Se sugiere usar una organización según el método científico, por ejemplo:

**Organización de un manuscrito sometido**

**como Artículo**

Introducción  
Materiales y métodos  
Resultados  
Discusión  
Agradecimientos  
Referencias  
Contribuciones de los autores  
Tablas  
Figuras

**Organización de un manuscrito sometido**

**como Comunicación**

Texto (sin divisiones)  
Agradecimientos  
Referencias  
Contribuciones de los autores  
Tablas  
Figuras

**Otras secciones pueden ser:** revisión de literatura, conclusiones, recomendaciones. La estructura del artículo será revisado por y evaluado el/los editor(es) y los revisores.

3. En los **Agradecimientos** se incluye:

- Declaración explícita de las fuentes de financiamiento que permitieron el desarrollo del trabajo.
- Los detalles de los permisos o autorizaciones para el desarrollo de la investigación y las instituciones que los emitieron.
- Aquellos que hayan contribuido al trabajo pero que no cumplan con los requisitos de autoría pueden ser mencionados en los Agradecimientos con una descripción de sus contribuciones.
- Los autores son responsables de asegurarse que toda persona nombrada en los agradecimientos está de acuerdo con eso.

4. La sección de **Contribuciones de los Autores** es necesaria cuando hay más de un autor. Se debe describir la contribución de cada uno de los autores para el desarrollo del artículo de manera explícita pero sucinta. La contribución puede ser:

- concepción de la investigación;
- diseño de la metodología;
- curación de datos para la investigación;
- administración del proyecto;
- adquisición, análisis o interpretación de los datos, incluyendo las labores de campo, laboratorio, experimentales, estadísticas, o el soporte técnico;
- adquisición de fondos;
- provisión de recursos, incl. equipos, materiales, reactivos, entre otros;
- desarrollo de software;
- supervisión o tutoría;
- validación y verificación de los resultados;
- redacción del manuscrito;
- revisión crítica del contenido intelectual del manuscrito;
- producción de tablas, figuras o material complementario.

**Ejemplo:**

María Álvarez y Pedro Pérez concibieron la investigación; Juan Norton y María Álvarez desarrollaron la metodología y realizaron el trabajo de campo; Juan Norton, Jonathan Castro y Pedro Pérez diseñaron el modelo y corrieron los análisis; Jonathan Castro y María Álvarez realizaron los análisis moleculares; Pedro Pérez proveyó reactivos; Juan Norton y Jonathan Castro redactaron el manuscrito; Juan Norton, Jonathan Castro, Pedro Pérez, María Álvarez y Pedro Pérez revisaron críticamente el contenido intelectual del manuscrito; Juan Norton tomó las fotografías de las figuras 1 y 3. Recuerde que la autoría del manuscrito debe seguir los lineamientos de autoría de la ICMJE.

## DIRECTRICES PARA REFERENCIAS

- En el texto, usar citas numeradas colocadas al final de la oración entre corchetes. Los números de citas diferentes deben separarse por comas, a menos que sea un rango continuo de citas en cuyo caso se usará un guion. Ejemplos: [10] [10,15,22] [12-20].
- Numerar las citas secuencialmente según aparecen en el texto (NO en orden alfabético de las referencias).
- Citar los trabajos sin publicar, en preparación o en proceso de revisión como "(datos sin publicar)", precedido por las iniciales y apellido del autor. Por ejemplo: A. Suárez (datos sin publicar)
- Se debe evitar las citas de información proveniente de correos electrónicos, cartas o documentos enviados entre colaboradores, pero si es absolutamente necesario, se deben referir como "com. pers." cuando corresponden a comentarios sin respaldo de correspondencia, y como "in litt." cuando hubo correspondencia escrita. En ambos casos, precedidos por las iniciales y apellido del colaborador y seguida del año. Por ejemplo: (J. Muñoz in litt. 2009) (J. Muñoz com. pers. 2010)
- Subtitular la lista de referencias como Referencias (no Bibliografía o Literatura Citada).
- Ordenar la lista de Referencias de acuerdo al orden secuencial que aparecen en el texto del manuscrito (NO en orden alfabético).
- El formato de las referencias debe seguir el estilo APA (6a Edición). Este estilo arma cada referencia con los siguientes componentes generales:
- Autores. (Año). Título de la obra. Datos de publicación.
- Ejemplos:

### Artículo en revista impresa:

Andersson, L. G. (1945). Batrachians from East Ecuador, collected 1937, 1938 by Wm. Clarke-Macintyre and Rolf Blomberg. *Arkiv för Zoologi* (Stockholm), 37A(2), 1–88.

### Artículo en revista con URL:

Ahlman, R. (2016). Green-winged Teal *Anas crecca carolinensis*, first record for Ecuador. *Cotinga*, 38, 40. Recuperado de <http://www.neotropicalbirdclub.org/wpcontent/downloads/C38online/Ahlman.pdf>

### Artículo en revista con DOI:

Jacobsen, D., Schultz, R., & Encalada, A. (1997). Structure and diversity of stream invertebrate assemblages: the influence of temperature with altitude and latitude. *Freshwater Biology*, 38(2), 247–261. doi: <http://www.dx.doi.org/10.1046/j.1365-2427.1997.00210.x>

### Libro impreso:

Diamond, J. (2006). *The Third Chimpanzee: The evolution and future of the human animal*. New York: Harper Perennial.

### Libro con URL:

Suber, P. (2102). *Open Access. The MIT Press Essential Knowledge Series*. Cambridge: The MIT Press. Recuperado de <http://bit.ly/oa-book>

### Libro con editores con DOI:

Walsh, S. J., & Mena, C. F. (Eds.). (2012). *Science and conservation in the Galapagos Islands: frameworks & perspectives*. Vol. 1. New York: Springer Science & Business Media. doi: <http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4614-5794-7>

### Capítulo de un libro impreso:

Minogue, K. (2014). Does the idea of "self-interest" explain the character of modern free societies? En P. Lucio Paredes & S. Oleas (Eds.), *The Complexity of Liberty: Selected essays from the Mont Pelerin Society Special Meeting in Galápagos June 2013*. Quito: Universidad San Francisco de Quito.

### Capítulo de un libro con DOI:

Maldonado, M., Maldonado-Ocampo, J. A., Ortega, H., Encalada, A. C., Carvajal-Vallejos, F. M., Rivadeneira, J. F., Acosta, F., Jacobsen, D., Crespo, A. & Rivera-Rondón, C. A. (2011). Biodiversity in aquatic systems of the Tropical Andes. En S. K. Herzog, R. Martinez, P. M. Jorgensen, & H. Tiessen (Eds.), *Climate change and biodiversity in the tropical Andes* (pp. 276–294). Paris/São José dos Campos: Inter-American Institute for Global Change Research (IAI) and Scientific Committee on Problems of the Environment (SCOPE). Recuperado de <http://www.iai.int/wp-content/uploads/2014/06/book.pdf>

**Disertación:**

Brandt, M. (2003). Influencia del erizo lapicero (*Eucidaris thouarsii*) en la estructura de la comunidad submarina de la cara norte del Isote Caamaño, Galápagos (Tesis de Licenciatura). Universidad San Francisco de Quito USFQ, Quito.

**Enciclopedia en línea (cita global de toda la enciclopedia):**

Frost, D. R. (2016). Amphibian Species of the World: an Online Reference (Version 6.0). American Museum of Natural History. Recuperado el 5 de febrero de 2017 de <http://research.amnh.org/herpetology/amphibia/index.html>

**Ficha en enciclopedia en línea con URL:**

Frost, D. R. (2016) *Nymphargus buenaventura* (Cisneros-Heredia and Yáñez-Muñoz, 2007). En Amphibian Species of the World: an Online Reference (Version 6.0). American Museum of Natural History. Recuperado el 5 de febrero de 2017 de <https://web.archive.org/web/20170206001235/http://research.amnh.org/vz/herpetology/amphibia/Amphibia/Anura/Centrolenidae/Centroleninae/Nymphargus/Nymphargus-buenaventura>

**Noticia en periódico en línea:**

En el limbo futuro de telescopio en Arecibo (2017, enero 30). El Universo. Recuperado de <https://web.archive.org/web/20170206002227/http://www.eluniverso.com/vida-estilo/2017/01/30/nota/6023449/limbo-futuro-telescopio-arecibo>

- Separar cada autor con una coma, y colocar "&" antes del último autor. Las iniciales de los nombres de los autores van después de los apellidos. Indicar todos los autores y no usar et al.
- Incluir el número de la revista entre paréntesis luego del volumen, si está disponible.
- Separar el rango de páginas por un guion n (-). No confundir esto con un guion simple (-).
- Colocar el DOI (Digital Object Identifier) en todas las referencias que lo tengan disponible, precedido por "doi:". El DOI debe estar en formato de enlace largo: <http://doi.org/xxx.xxx.xxx>
- No colocar un punto después del DOI .
- Si un DOI no está disponible (debe hacer una búsqueda exhaustiva), colocar un enlace estable hacia el sitio web de la revista (por ejemplo, el enlace estable de JSTOR) o un repositorio institucional (por ejemplo, Archive.org), con el texto "Recuperado de". No colocar enlaces a páginas web personales, servicios no-permanentes de carga/descarga de archivos.
- Para incluir la dirección de Internet o URL de una página que podría cambiar en el futuro debe primero respaldar dicho URL en un archivo digital que resguarden dicha referencia para el futuro. Para esto puede usar Wayback Machine de Internet Archive <https://archive.org/web/> o el sistema archive.is <http://archive.is>. Esto debe ser hecho en particular para páginas que provienen de enciclopedias en línea, periódico de noticias, páginas personales o institucionales.
- Cuando se hace referencia a publicaciones en línea que tienen fechas específicas (como los blogs), se debe colocar (Año, Mes día) y no solo el año.
- Colocar Anónimo cuando no exista un autor determinado.
- Colocar n/f cuando no se conozca el año de publicación.
- Citar manuscritos aceptados para publicación como "in press" solamente si ya tiene la información de publicación del artículo (número de la revista y páginas). Artículos que no tengan esta información son considerados aceptados, pero no en prensa y serán citados como "datos en proceso de publicación" dentro del texto, pero no se incluirán en las Referencias Bibliográficas.
- No se aceptará literatura gris entre las referencias bibliográficas. La literatura gris corresponde a documentos que no están disponibles por canales bibliográficos regulares (como bibliotecas o bases de datos en línea), y usualmente corresponde a reportes técnicos, informes y otros trabajos sin publicar. De ser en extremo necesario, su uso será autorizado por el Editor del manuscrito. Sin embargo, es preferible considerar la opción de colocar esa información como "datos sin publicar" o "comunicación personal". De ser aprobada su inclusión como referencia, una copia del documento de literatura gris debe ser depositada en la Biblioteca de la USFQ.

### DIRECTRICES PARA TABLAS

- Citar tablas en el texto con numerales arábigos en el orden que aparecen. Ejemplos: "Tabla 1" "Tablas 1–3"
- Colocar las tablas luego del texto, cada una iniciará en su propia página.
- Las tablas deben alcanzar en una hoja A4 con márgenes de 2,5 cm, pudiendo esta orientarse de manera vertical y horizontal, según sea mejor para la apariencia de la tabla.
- Cada tabla debe tener su propia leyenda explicativa, la cual debe ser comprensible sin hacer referencia al texto y será colocada antes de la tabla. Cada leyenda empezará con el número de la tabla. Ejemplo:

TABLA 1. Comparación de los efectos...

- Incluir unidades en los encabezados de columnas y filas entre paréntesis.
- De ser necesarias, colocar notas al pie de la tabla enlazadas con los siguientes símbolos en el mismo orden: \*, †, ‡, §, ¶. Sin embargo, es preferible colocar cualquier aspecto importante como parte de la leyenda.

### DIRECTRICES PARA FIGURAS

- Avances en Ciencias e Ingenierías publica sin costo figuras a color, siempre y cuando se relacionen directamente con el manuscrito.
- El término Figura hace referencia a todo tipo de imágenes, incluyendo gráficos, dibujos, fotografías y mapas.
- Citar figuras en el texto con numerales arábigos en el orden que aparecen usando la abreviatura "Fig". Ejemplo: "Figs. 1–3"
- En el envío inicial, las figuras deben ir en baja resolución, siempre que sean legibles, e incluidas en el archivo de texto del manuscrito, luego de las tablas. Sin embargo, una vez aceptado el manuscrito, las figuras deben ser enviadas en resolución alta (mínimo 300 dpi, recomendable 600 dpi) en uno de los siguientes formatos: \*.tiff, \*.eps, \*.emf, \*.bmp, como documentos separados del archivo de texto.
- Cada figura irá en su propia página y precedida por su leyenda. La leyenda será autoexplicativa, debiendo ser comprensible sin hacer referencia al texto y será colocada antes de la figura. Cada leyenda empezará con el número de la figura. Ejemplo:

FIGURA 1. Mapa de la región...

- Figuras dibujadas con líneas (line artwork) se preparan mejor en programas gráficos basados en vectores (e.g. Corel Draw, Illustrator, Freehand, Inkscape, ArcView). Por lo que es recomendable presentarlas en formato EPS. No use líneas de un ancho menor a 0.3 puntos.
- Las fotografías en blanco y negro, fotografías a color y mapas y gráficos realizados en programas basados en raster (e.g. Photoshop, Gimp) es recomendable que sean enviadas en formato \*.tiff. Para archivos \*.tiff, note que la resolución es irrelevante, es importante el tamaño en píxeles, por lo que recomendamos un tamaño mínimo de 1000 píxeles.
- Todo manuscrito que incluya un sitio de estudio debe incluir un mapa del mismo. Dicha figura debe: (1) ir rodeada de un borde con líneas delgadas, (2) estar geográficamente referenciado con algunas marcas de latitud y longitud y con un pequeño mapa insertado que indique la localización general, (3) tener una barra de escala en km, (4) tener una flecha que indique el Norte (no usar una rosa de los vientos), y (5) tener líneas de referencia como límites de países, carreteras, ríos o elevaciones, extendiéndose hasta el borde.
- Para todas las figuras use líneas con un grosor entre 0.3-1.0 puntos y tamaños de letra de 12 puntos.
- Todas las letras y textos usados dentro de las figuras deben ir en Times.
- Si es que desea agregar varias imágenes como una sola figura compuesta o crear una lámina con varias imágenes que ocupe toda una página, no se preocupe por el diseño de la misma. En el primer envío del manuscrito no debe armar dicha figura, sino que debe colocar la leyenda de la figura y luego pegar cada imagen separada. Cada imagen debe tener su propia denominación a través de literales en mayúsculas (ej. A) colocados en la esquina inferior derecha de cada imagen. Cuando el manuscrito avance en el proceso de publicación, el equipo de diseño de la revista se ocupará de armar y diseñar sus imágenes compuestas o láminas.
- Recuerde que las figuras serán ajustadas al tamaño de una o dos columnas en una página A4, por lo que todos los elementos de la imagen deben ser lo suficientemente grandes para ser legibles después de la reducción de tamaño, en especial los textos internos y las líneas.

- Eliminar espacios blancos o vacíos innecesarios alrededor de las figuras.
- Incluir los créditos respectivos de la figura en la leyenda. Recuerde que es responsabilidad del autor tener los permisos necesarios para poder reproducir la figura bajo la Licencia Creative Commons de la revista.
- Si usa un mapa como una figura, debe citar la fuente del mapa. De ser posible, use mapas que sean de uso público o que permitan su uso irrestricto. Si usa Google Earth o Google Maps, debe seguir los lineamientos de atribución de Google.

### DIRECTRICES PARA MATERIAL SUPLEMENTARIO

- Los autores pueden publicar material suplementario junto a su manuscrito. Este material corresponde a información que complementa o provee soporte al manuscrito publicado y que se podrá descargar como archivos independientes.
- Diferentes tipos de información pueden ser incluidos como material suplementario: textos extensos sobre metodologías, bases de datos, archivos de vídeo, de audio, fotográficos y otros respaldos audiovisuales, entre otros.
- Los Materiales Suplementarios reemplazan a los Apéndices.
- Estos materiales serán citados al final del manuscrito con enlaces al portal de la revista donde estarán a disposición del público de manera gratuita.
- Si el material suplementario está compuesto por texto, debe ser presentado con el mismo formato general requerido para el manuscrito.
- De ser necesario, citar archivos de Material Suplementario en el texto siguiente el siguiente formato: Fig. S1, Tabla S1, Datos S1, Vídeos S1, Artículo S1, Audio S1. Donde la S indica que es material suplementario, y el número indica la secuencia numérica de dicho material.
- Para maximizar compatibilidad, sugerimos que envíe su Material Suplementario en los siguientes formatos: Imágenes en JPG, EPS o PNG; tablas en XLS o XLSX; textos en PDF; vídeos en AVI, MOV o MP4, y archivos de audio en WAV o MP3.
- Sets grandes de datos suplementarios se pueden presentar en formato comprimido (zip o tar).

### DIRECTRICES SOBRE NOMENCLATURA BIOLÓGICA Y DESCRIPCIÓN DE NUEVAS ESPECIES

- ACI Avances en Ciencias e Ingenierías cumple con los requisitos establecidos por los diferentes códigos de nomenclatura sobre la validez para la descripción de nuevas especies y la disponibilidad de los artículos en línea como trabajos publicados, incluyendo el International Code of Zoological Nomenclature y el International Code of Nomenclature for algae, fungi, and plants.
- La revista se encargará de obtener los registros y el GUID (LSID) en Zoobank, IPNI y Mycobanl o Index Fungorum.
- Todos los artículos y comunicaciones de ACI Avances en Ciencias e Ingenierías están siendo depositados en Internet Archive Archive.org y en el repositorio USFQ.
- Los autores deben adherirse a los lineamientos establecidos por los códigos internacionales de nomenclatura respectiva al organismo tratado.
- Las descripciones de especies nuevas de seres vivos o los análisis taxonómicos deben seguir lo establecido en el respectivo código de nomenclatura.
- Cuando un taxón biológico es mencionado por primera vez, se debe escribir su nombre común (como nombre propio) seguido por su nombre científico en cursiva, por ejemplo: Oso de Anteojos Tremarctos ornatus. No colocar el nombre científico o el nombre común entre paréntesis. Más adelante en el manuscrito se puede usar solamente el nombre científico o el nombre común.
- Si el manuscrito corresponde a un análisis taxonómico o si existe controversia en relación a la nomenclatura del organismo estudiado, presentar el nombre del taxón seguido por los datos de autoría taxonómica al mencionarlo por primera. Los datos de autoría taxonómica de nombres zoológicos son los apellidos de los descriptores y el año de descripción, separados por una coma, ejemplo: Grallaria ridgelyi Krabbe et al., 1999. La autoría taxonómica de nombres botánicos debe seguir lo especificado en The International Plant Names

Index. Colocar la autoría taxonómica entre paréntesis solo si existió un cambio a nivel del género. Cuando hay tres o más descriptores utilizar “et al.” sin cursivas.

### ENVÍO DEL MANUSCRITO

1. Todos los manuscritos sometidos a la revista ACI Avances en Ciencias e Ingenierías deben ser enviados a través del portal en línea. En la sección Envíos en Línea podrán registrarse y crear un Nuevo Envío.
2. Si manuscrito tiene más de un autor, por favor incluya la información de todos los autores en el sistema (incluyendo sus correos electrónicos).
3. Al momento de someter su manuscrito, debe indicar el nombre, institución y correo electrónico de por lo menos cuatro posibles revisores que podrían hacer la evaluación de pares académicos de su manuscrito. Estas personas deben ser capaces de proveer una evaluación objetiva de su manuscrito, por lo que no pueden pertenecer a la institución de ninguno de los autores, ni estar involucrados en el estudio de manera directa o indirecta. El equipo editorial de la revista se reserva el derecho de seleccionar a los revisores sugeridos al momento del envío del manuscrito o de buscar a otros revisores.
4. Para el envío inicial, el manuscrito debe consistir de un solo archivo que incluya: el texto, las tablas y figuras. Las tablas y las figuras deben ir luego del texto (no intercaladas en el texto). Cada tabla y figura irá en su propia página y estará precedida por su leyenda. En caso de enviar Material Suplementario, deberá ser enviado como archivos separados y subidos al momento del envío inicial.
5. Si es que algunas de las figuras de su manuscrito es una figura compuesta por varias imágenes, no debe armar dicha figura sino que debe colocar la leyenda de la figura y luego pegar cada imagen separada. Cada imagen debe tener su propia denominación a través de literales en mayúsculas (ej. 5A) colocados en la esquina inferior derecha de cada imagen.
6. La revista mantendrá comunicación directa con el autor para correspondencia, quien es el responsable de someter el manuscrito, recibir las revisiones, enviar el manuscrito revisado, aprobar la corrección de originales y las pruebas de imprenta.

### LISTA DE COMPROBACIÓN PARA LA PREPARACIÓN DE ENVÍOS

Como parte del proceso de envío, los autores/as están obligados a comprobar que su envío cumpla todos los elementos que se muestran a continuación. Se devolverán a los autores/as aquellos envíos que no cumplan estas directrices.

- El estudio presenta los resultados de investigación científica primaria.
- El envío no ha sido publicado previamente ni se ha sometido a consideración en otra publicación.  
**NOTA:** ACI Avances en Ciencias e Ingenierías apoya a los autores que desean compartir su trabajo de manera temprana a través de archivos/repositorios de prepublicaciones (preprint servers/repositorios), incluyendo arXiv, bioRxiv, figshare, PeerJ Preprints, SSRN, Zenodo, entre otros. De igual forma consideramos manuscritos que han salido únicamente como tesis en repositorios institucionales o trabajos que han sido presentados en actas de conferencias.
- Todas las metodologías de análisis, tanto experimentales, estadísticas y otras, se han realizado bajo estándares técnicos de alta calidad y se describen en suficiente detalle para garantizar su reproducibilidad.
- Todas las conclusiones se pasan en la interpretación justificada y apropiada de los resultados. Los autores deben evitar exagerar el alcance de sus conclusiones y si bien pueden discutir el posible impacto de sus resultados deben identificar sus ideas como hipótesis y no como conclusiones.
- Los textos están escritos de una manera entendible y clara, teniendo un correcto uso del lenguaje. Los manuscritos aceptados por la revista ACI Avances en Ciencias e Ingenierías pasan por una corrección del lenguaje y estilo, sin embargo errores en el uso del lenguaje pueden nublar el correcto entendimiento del contenido y provocar evaluaciones negativas por parte los revisores.
- El estudio debe cumplir con todos los estándares aplicables de ética en la experimentación e integridad científica. Todos los estudios relacionados con seres vivos, líneas celulares, muestreo de campo o que tengan potenciales implicaciones de bioseguridad deben contar con las aprobaciones de un comité de ética institucional / IRB, así como con todos los permisos legales requeridos por el país donde se realiza la investigación.

- El manuscrito sigue estándares utilizados por la comunidad de su disciplina científica y garantiza la disponibilidad de los datos. La disponibilidad de los datos se puede realizar colocándolos como material suplementario del manuscrito o depositándolos en repositorios digitales confiables.
- Todos los autores han participado en el desarrollo del manuscrito, lo han leído y están de acuerdo con su envío a la revista ACI Avances en Ciencias e Ingenierías, y de ser aceptado, están de acuerdo que sea publicado según a la *Política de Acceso Abierto* de la revista.
- Todos los autores cumplen con los requisitos de autoría detallados en la *Política de Autoría*.
- El envío inicial del manuscrito consiste de un solo archivo, que incluye: el texto, las tablas y figuras en el mismo archivo. Las tablas y las figuras van luego del texto (no intercalarlas con el texto). Cada tabla y figura está en su propia página y está precedida por su leyenda. En caso de enviar Material Suplementario, se lo envía como archivos separados.
- Si es que hay figuras compuesta por varias imágenes, se colocó la leyenda de la figura y luego se pegó cada imagen separada. Cada imagen tiene su propia denominación a través de literales en mayúsculas (ej. A) colocados en la esquina inferior derecha de cada imagen.
- Siempre que sea posible, se proporcionan DOI o direcciones URL estables para las referencias.

#### **AVISO DE DERECHOS DE AUTOR/A**

**Los autores que publiquen en la revista ACI Avances en Ciencias e Ingenierías aceptan los siguientes términos:**

- Los autores conservarán sus derechos de autor y garantizarán a la revista el derecho de primera publicación de su obra, la cual estará simultáneamente sujeto a la *Licencia de reconocimiento de Creative Commons* que permite a terceros compartir la obra siempre que se indique su autor y su primera publicación esta revista.
- Los autores podrán adoptar otros acuerdos de licencia no exclusiva de distribución de la versión de la obra publicada, pudiendo de esa forma publicarla en un volumen monográfico o reproducirla de otras formas, siempre que se indique la publicación inicial en esta revista.
- Se permite y se recomienda a los autores difundir su obra a través de Internet:
- Antes del envío a la revista, los autores pueden depositar el manuscrito en archivos/repositorios de pre-publicaciones (preprint servers/repositories), incluyendo arXiv, bioRxiv, figshare, PeerJ Preprints, SSRN, entre otros, lo cual puede producir intercambios interesantes y aumentar las citas de la obra publicada (Véase *El efecto del acceso abierto*).
- Después del envío, se recomienda que los autores depositen su artículo en su repositorio institucional, página web personal, o red social científica (como Zenodo, ResearchGate o Academia.edu).

#### **DECLARACIÓN DE PRIVACIDAD**

Los nombres y las direcciones de correo electrónico introducidos en esta revista se usarán exclusivamente para los fines establecidos en ella y no se proporcionarán a terceros o para su uso con otros fines.

**aci**  
avances  
en ciencias e  
ingenierías

