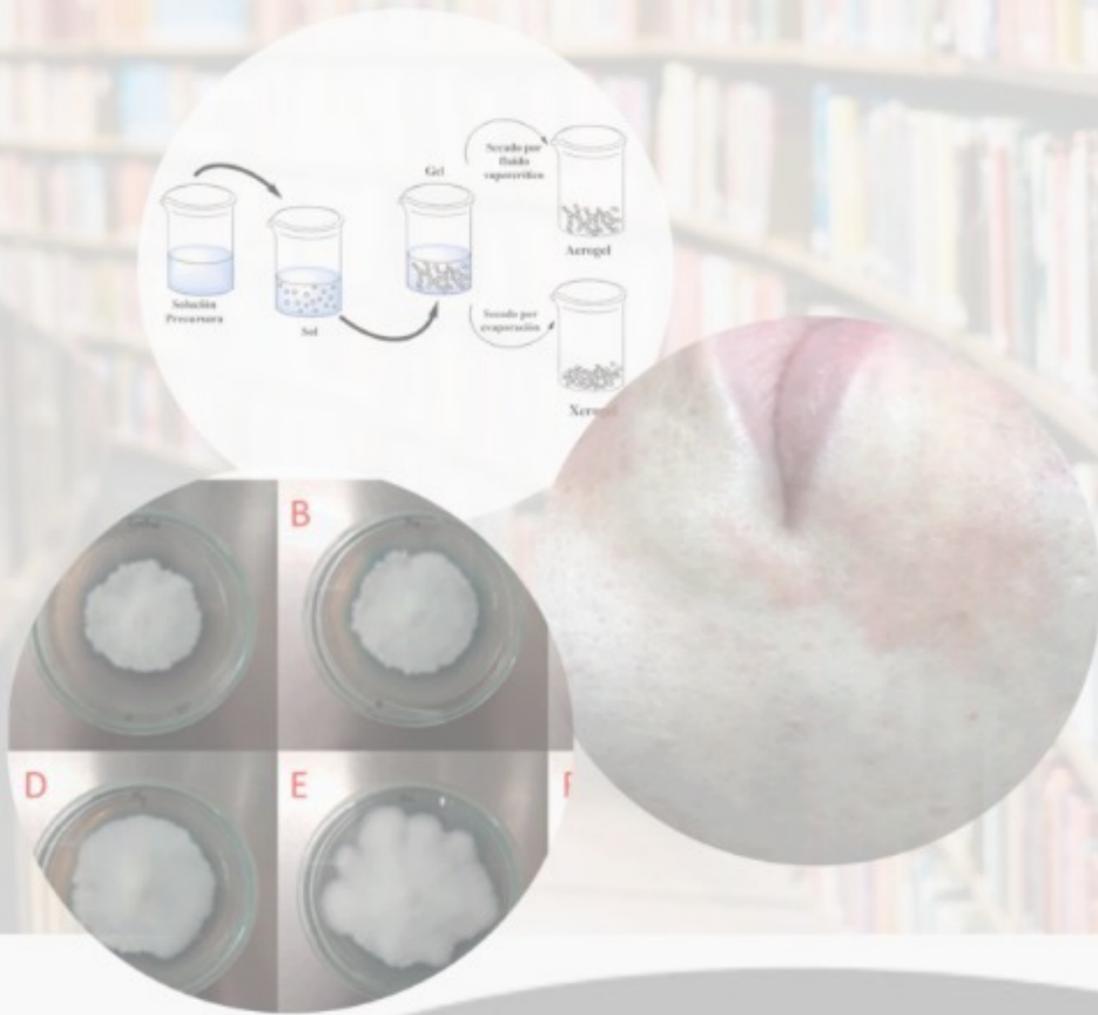




REVISTA BASES DE LA CIENCIA

Revista Científica - Instituto de Ciencias Básicas



Edición Continua

Mayo - Agosto 2021

ISSN 2588-0764

Vol. 6 Num.

REDIB
Red Iberoamericana
de Revistas Científicas

DOAJ
DIRECTORY OF
OPEN ACCESS
JOURNALS

MIAR
Mesa de Información para el
Análisis de Revistas

Actualidad Iberoamericana
Índice Internacional de Revistas



OpenAIRE

OAJI
Open Academic
Journals Index

PUBLICADO: 2021-08-30

latindex

2



Índice

Ciencias Químicas

- PROCESO SOL-GEL EN LA SÍNTESIS DE DIÓXIDO DE SILICIO (SiO₂)** 1
Michael Azael Ludeña Huaman
- EFFECTO DEL pH Y SALES INORGÁNICAS EN LA DEGRADACIÓN DE COLORANTES INDUSTRIALES POR *Pleurotus djamor*** 13
Mario Peñafiel-García, Cristhopher Romero-Zambrano, Carlos Moreira-Mendoza, Ernesto Rosero-Delgado
- INFLUENCIA DE LA MADUREZ DE LAS MAZORCAS DE CACAO: CALIDAD NUTRICIONAL Y SENSORIAL DEL CULTIVAR CCN-51** 27
Cristhel Mora-Encalada, José Quevedo-Guerrero, Jonathan Zhiminaicela-Cabrera, Sayda Herrera-Reyes, Anthony Morocho-Castillo, Joffre León Toro
- EL SILVESTROL COMO AGENTE ANTIVIRAL DE AMPLIO ESPECTRO** 41
Marco Fuel Herrera, Sandra Cangui Panchi
- EL PAPEL DE LOS RESIDUOS AGRÍCOLAS EN LA EXTRACCIÓN DE NANOCRISTALES DE CELULOSA** 57
Wendy Elizabeth Peralta Holguín, Carlos Alcibar Medina Serrano
- ANÁLISIS DE CORRESPONDENCIAS MÚLTIPLE PARA DESCRIBIR EL COMPORTAMIENTO PROAMBIENTAL DEL CIUDADANO DE MANABÍ-ECUADOR PARA EL AÑO 2018** 75
Bryan Cruz, Lelly Useche
- ESTUDIO SOBRE LA APLICACIÓN DE QUITOSANO PARA LA CURA DE LESIONES Y HERIDAS DE LA PIEL** 95
Irvin Gregorio Malavé Castellano Marinela Nazareth Colina Rincón, Yohanna Fabiola Zerpa Caldera, Rosa Arelis Lobo de Márquez
- POLIÉSTERES COMO BIOMATERIALES. UNA REVISIÓN** 113
Jesús Miguel Contreras-Ramírez, Dimas Alejandro Medina, Meribary Monsalve



Ciencias Químicas

ALMIDONES DE CÁSCARA DE YUCA (MANIHOT ESCULENTA) Y PAPA (SOLANUM TUBEROSUM) PARA PRODUCCIÓN DE BIOPLÁSTICOS: PROPIEDADES MECÁNICAS Y EFECTO GELATINIZANTE 137

Carla Virginia Vélez Martínez, Xiomara Soledad Zambrano Murillo, María Hipatia Delgado Demera, Gabriel Alfonso Burgos Briones, Carlos Alfredo Cedeño Palacios

ELABORACIÓN DE UNA CREMA COSMÉTICA A PARTIR DE EXTRACTOS DE *CORIANDRUM SATIVUM* 153

Elena Basurto Jimbo, Viviana García Mir, Estefanía Rueda Rodríguez, Kevin Noles Ramón

Ciencias Matemáticas

CONTROL DE VARIABLES ASOCIADAS CON LA CALIDAD EN EL PROCESO DE CORRUGADO MEDIANTE EL USO DE GRÁFICOS DE CONTROL MULTIVARIANTE 167

Oscar Vargas, Víctor Márquez

Indexaciones 181

Normas editoriales 183



PROCESO SOL-GEL EN LA SÍNTESIS DE DIÓXIDO DE SILICIO (SiO₂)

Michael Azael Ludeña Huaman 

Departamento Académico de Química, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco (UNSAAC), Av. de la Cultura, 733, Cusco, Perú. E-mail: michael.ludena@unsaac.edu.pe

Autor para la correspondencia: michael.ludena@unsaac.edu.pe

Recibido: 17-08-2020 / Aceptado: 18-02-2021 / Publicación: 30-08-2021

Editor Académico: Juan Primera 

RESUMEN

En ciencia de los materiales el dióxido de silicio, también conocido como sílice, ha recibido significativa atención en diferentes áreas de investigación, ganando un espacio importante y de mucho interés entre los investigadores, debido a sus diversas aplicaciones que abarcan desde la síntesis de soportes para catalizadores hasta materiales para la liberación controlada de fármacos. Es motivo por el cual, en este manuscrito se dan a conocer aspectos químicos fundamentales e importantes sobre el proceso sol-gel en la síntesis de la sílice a partir de moléculas precursoras de alcóxidos de silicio y organosilanos. Se analiza cómo el catalizador ácido/básico y el tipo de precursor afectan a las reacciones de hidrólisis y condensación, así como a la estructura y morfología del material.

Palabras clave: Sílice, *Sol-gel*, Hidrólisis, Condensación, Alcóxido.

SYNTHESIS OF SILICON DIOXIDE (SiO₂) BY SOL-GEL PROCESS

ABSTRACT

In materials science, silicon dioxide has received significant attention in different research areas, gaining valuable space and interest between researchers due to its diverse applications, ranging from the synthesis of supports for catalysts to materials for controlled drug liberation. Herein we describe fundamental and important chemical aspects of the *sol-gel* process in the synthesis of silica, starting from precursor molecules of silicon alkoxides and organosilanes. Moreover, this review analyses how the acid/basic catalyst and the type of precursor affect the hydrolysis and condensation reaction, as well as the structure and morphology of the obtained material.

Keywords: Silica, *Sol-gel*, Hydrolysis, Condensation, Alkoxide.

PROCESSO SOL-GEL NA SÍNTESE DE DIÓXIDO DE SILÍCIO (SiO₂)

RESUMO

Na ciência dos materiais o dióxido de silício, também conhecido como sílica, recebeu atenção especial de diferentes áreas de pesquisa devido às inúmeras possibilidades de aplicação tecnológica que vão desde a síntese de suportes para catálise até materiais para liberação controlada de fármacos. Por isso, neste manuscrito são apresentados aspectos químicos fundamentais e importantes sobre o processo *sol-gel* na síntese de sílica a partir de moléculas precursoras de alcóxidos de silício e organossilanos. É discutido como o catalisador ácido/básico e o tipo de precursor afetam tanto as reações de hidrólise e condensação, como a estrutura e morfologia do material.

Palavras chave: Sílica, *Sol-gel*, Hidrólise, Condensação, Alcóxido.



1. FUNDAMENTOS DEL PROCESO *SOL-GEL*

Para una mejor comprensión del proceso *sol-gel*, es necesario describir que según la enciclopedia Británica un sol es un coloide, es decir, partículas muy finas dispersas en un medio continuo en el que las partículas son sólidas y el medio de dispersión es un fluido (Britannica, 1998a). Es también, importante mencionar que las partículas deben poseer dimensiones menores a $1\ \mu\text{m}$ para que el sistema este gobernado por el movimiento Browniano y éstas permanezcan dispersas en el fluido. Por lo contrario, si las dimensiones son mayores a $1\ \mu\text{m}$ la fuerza gravitatoria empieza a gobernar el sistema obligando a las partículas a sedimentar. Por otro lado, los geles son coloides en los que el medio líquido se ha vuelto lo suficientemente viscoso y se comporta de forma similar a un “sólido” (Britannica, 1998b)

El proceso **sol-gel** consiste en la progresiva conversión de moléculas precursoras a un coloide (sol) y luego a una red integrada (gel) (Pierre, 1998). Posteriormente el gel es sometido a un proceso de secado e independiente del método que se emplea para secar el gel, se puede obtener dos tipos de materiales el primero definido como “xerogel” donde los poros han colapsado producto del proceso de secado y el segundo material conocido como “aerogel” donde los poros no han colapsado en el proceso de secado (Danks et ál., 2016; Iswar et ál., 2017; Elma y Setyawan., 2018). Por lo general, realizar un proceso de secado en el que se aumenta la temperatura para evaporar el agua provoca un colapso de los poros y un secado con fluido supercrítico evita el colapso de los poros del gel (**Figura 1**).

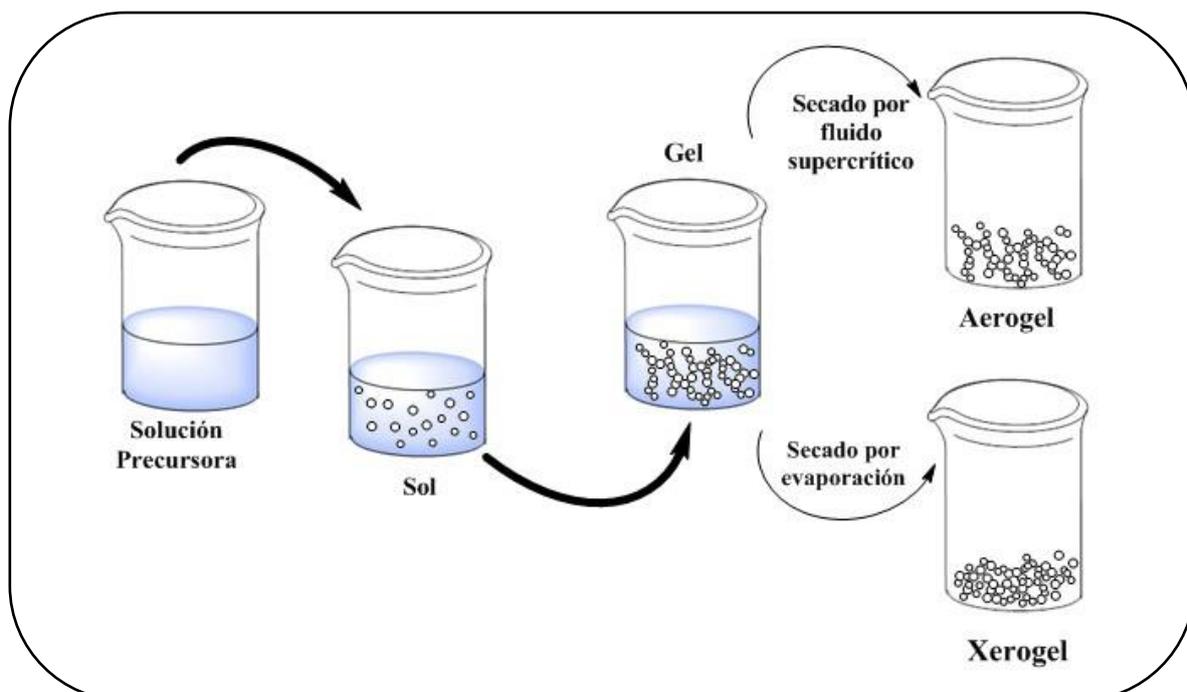


Figura 1. Obtención del xerogel y aerogel a través del proceso *sol-gel*.

Fuente: Elaboración propia.

La ventaja de usar el proceso sol-gel es que permite el control del proceso de síntesis desde los precursores hasta el producto final. Por esta razón, este método es muy empleado en la síntesis de dióxido de silicio (SiO₂) y los precursores preferidos son los alcóxidos de silicio que a través de reacciones de hidrólisis y condensación forman la red de sílice como se muestra en la **Figura 2** (Brinker, 1988; Brinker y Scherer, 1990).

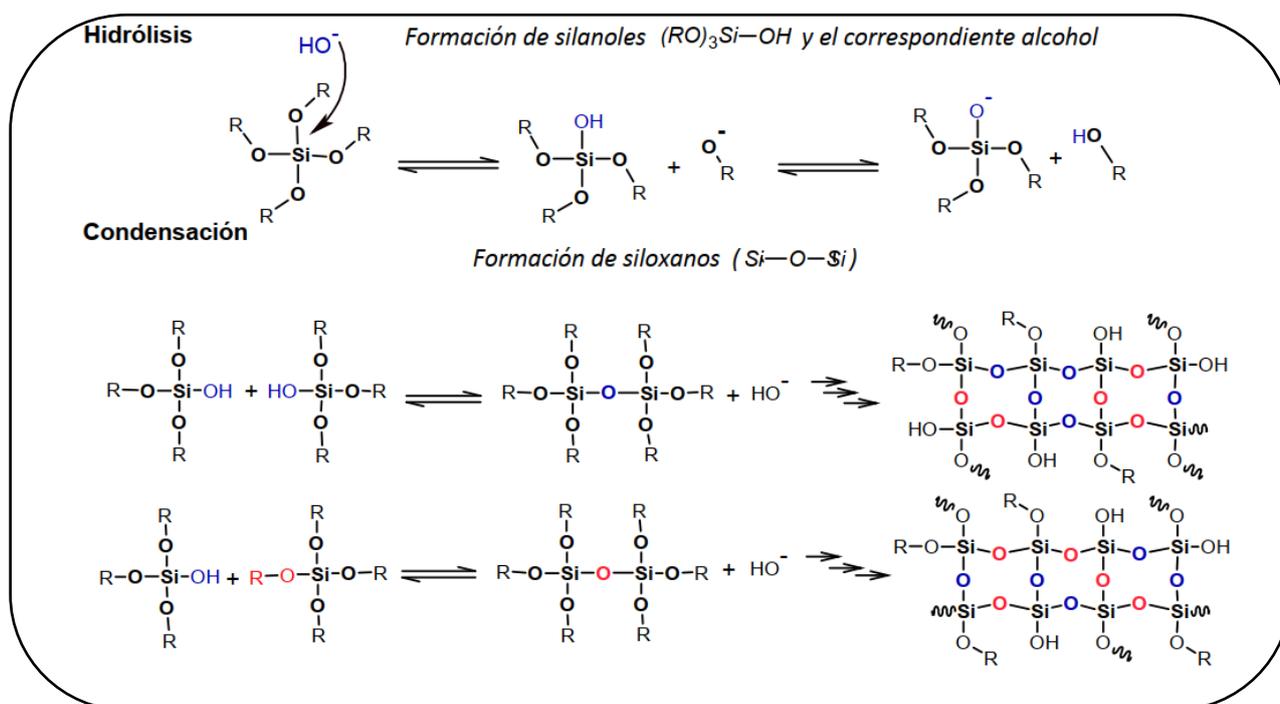


Figura 2. Reacción de hidrólisis y condensación de los alcóxidos de silicio para la formación de la red de sílice.
Fuente: Elaboración propia.

Precursores sol-gel

Los alcóxidos de silicio **Si(OR)₄** son usados como precursores debido a que su rapidez de reacción química permite realizar variaciones en los parámetros de reacción durante el proceso de síntesis, lo que conduce a la obtención del material con las propiedades deseadas (Guglielmi y Carturan, 1988; Turova et ál., 2002). Los dos alcóxidos de silicio más empleados para realizar la síntesis de sílice son el tetraetil ortosilicato (**TEOS**), Si(OC₂H₅)₄, y el tetrametil ortosilicato (**TMOS**), Si(OCH₃)₄, el primero es el preferido. Se ha observado que la longitud de la cadena orgánica (**R**) afecta a la rapidez de hidrólisis debido a factores estéricos, es decir, que si la longitud de la cadena orgánica aumenta la rapidez de hidrólisis disminuye, esto permite un cierto control del proceso desde la naturaleza del alcóxido de silicio precursor (Innocenzi, 2019). En la **Figura 3** se presenta algunos de los alcóxidos de silicio con distintas longitudes de la cadena orgánica.

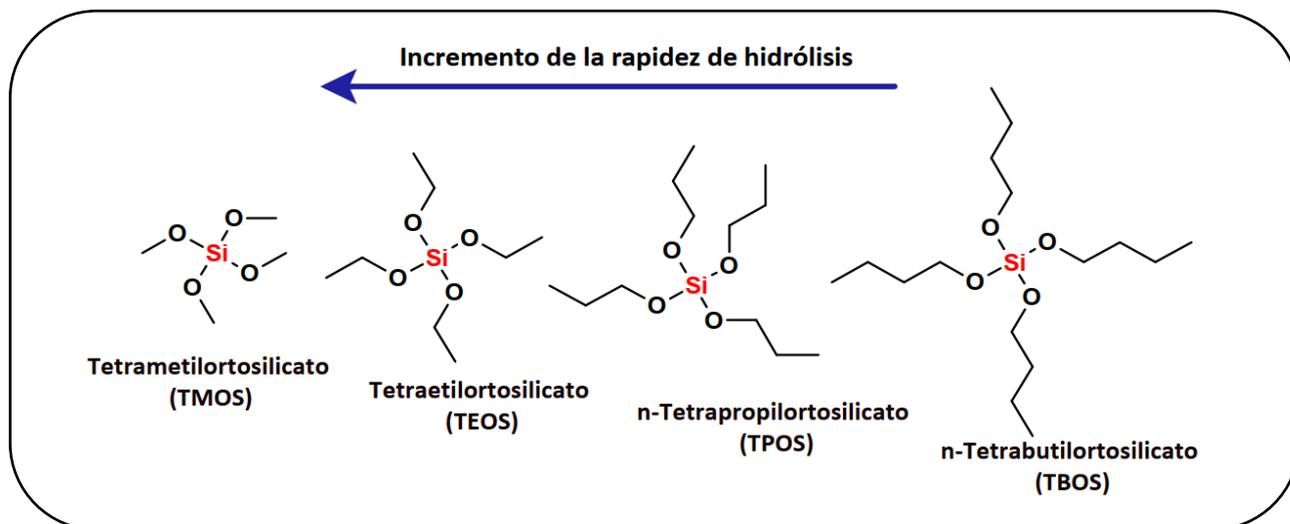


Figura 3. Incremento de la rapidez de hidrólisis de los alcóxidos de silicio en función de la longitud de la cadena orgánica.

Fuente: Elaboración propia.

Los alcóxidos de silicio modificados orgánicamente con al menos un enlace directo entre el átomo de silicio y el de carbono $(\text{RO})_3\text{Si}-\text{C}$ son conocidos como compuestos organosilanos (**Figura 4**) y son usados como precursores para la síntesis de materiales híbridos, es decir, materiales con una parte orgánica y otra inorgánica (José y Sanchez, 2005; Machado et ál., 2011).

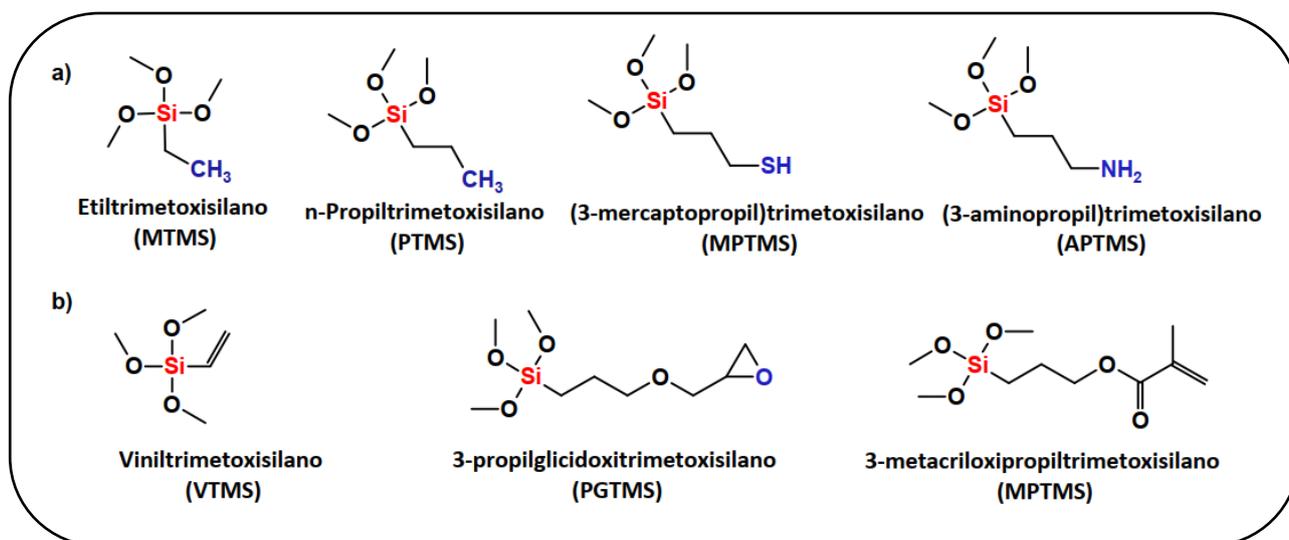


Figura 4. Estructura de algunos organosilanos usados como precursores.

Fuente: Elaboración propia.

Los organosilanos con algún grupo polimerizable como vinil o epoxi (**Figura 4b**) suelen ser utilizados como monómeros e incorporados en alguna reacción de polimerización. Por ejemplo, Alam et al. (2013) llevaron a cabo la síntesis de polímeros híbridos entrecruzados que son sensibles al cambio de la temperatura y esto lo lograron a través de la copolimerización radicalaria del N-isopropilacrilamida (NIPAAm) y el organosilano 3-metacriloxipropiltrimetoxisilano (MPTMS) y

además usaron nanopartículas de dióxido de silicio (SiO₂) para que actúen como entrecruzador del copolímero (**Figura 5**).

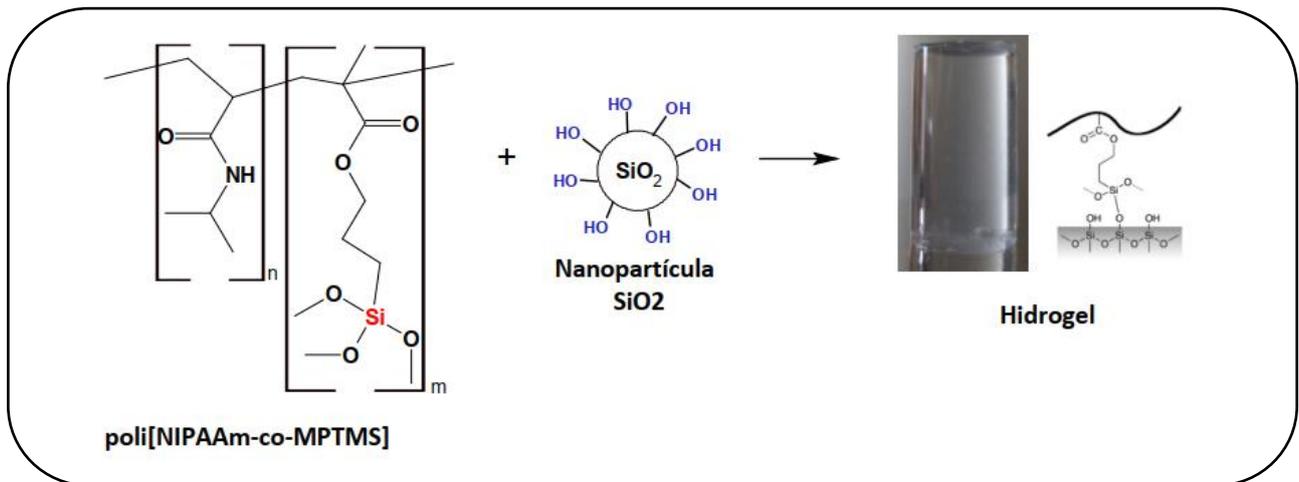


Figura 5. Síntesis de un hidrogel (polímero entrecruzado) híbrido en el que se utilizó un organosilano como comonómero y nanopartículas de SiO₂ como entrecruzador.

Fuente: Adaptado de Alam et al. (2013).

Si únicamente precursores organosilanos son utilizados en el proceso *sol-gel*, se obtiene un material híbrido con alto contenido orgánico conocido como Silsesquioxano. Estos materiales poseen una estructura molecular interesante conocida como **Oligómero Silsesquioxano Poliédrico** (**Figura 6**) y ha sido descrito como una "jaula tridimensional" que se obtiene bajo condiciones de reacción adecuadas, más detalles sobre estos tipos de compuestos se puede encontrar en los artículos publicados por Benvenuti et ál. (2009) y Dudzic et ál., (2016).

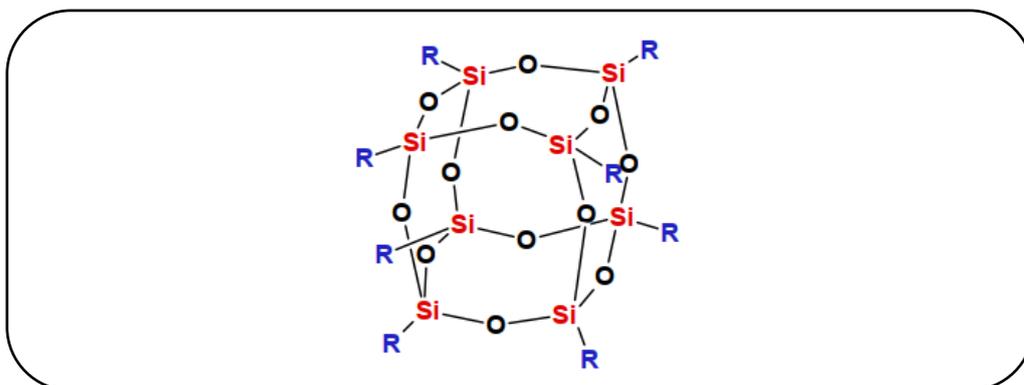


Figura 6. Estructura de los silsesquioxanos poliédricos.

Fuente: Elaboración propia.

Jitianu et ál. (2003) investigaron el proceso de hidrólisis y condensación de precursores organosilanos como el metiltrietoxisilano (**MTES**), viniltrietoxisilano (**VTES**) y los comparó con el alcóxido de silicio tetraetil ortosilicato (**TEOS**) y concluyeron que: **a**) el enlace Si-C de los organosilanos no se hidroliza y se mantiene hasta el final del proceso; **b**) la reactividad aumenta en el orden TEOS <

VTES < MTES. En su investigación, reportaron que este aumento ocurre debido al efecto inductivo (+I) y al efecto estérico, explicado de la siguiente manera: el grupo metilo es un débil donador de electrones (+I), comparado con el grupo etóxido que es un moderado atractor de electrones (-I). Entonces, si se realiza la sustitución del grupo etóxido por el metil, puede provocarse una disminución de la carga positiva sobre el silicio, y un incremento de la carga negativa sobre los oxígenos, lo que genera un incremento en el grado de protonación de los átomos de oxígeno alrededor del silicio, aumentando la rapidez de hidrólisis. Por otro lado, el grupo vinilo del VTES es un débil atractor de electrones, que provoca un incremento de la carga positiva sobre el silicio, y una disminución de la carga negativa sobre los átomos de oxígeno. Esto disminuye el grado de protonación del oxígeno, así como la rapidez de hidrólisis. Al comparar la rapidez de hidrólisis, se tiene que el MTES es más rápido que el VTES y este a su vez es más rápido que el TEOS, debido a que el grupo etóxido es un atractor de electrones más fuerte que el grupo vinilo, por la diferencia de electronegatividad. En la **Figura 7** se esquematiza el efecto del grupo atractor y donador de electrones en la rapidez de hidrólisis.

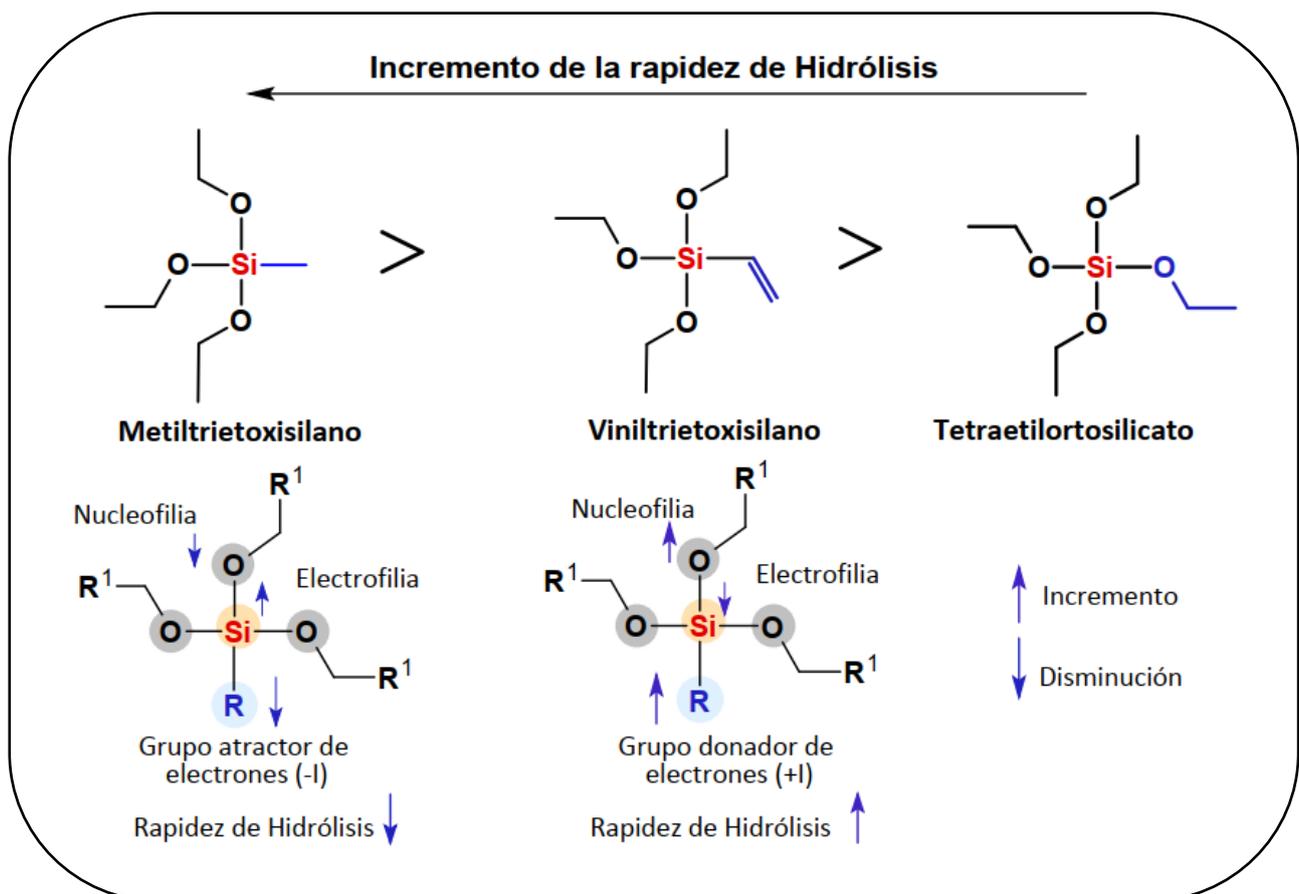


Figura 7. Efecto del sustituyente atractor o donador de electrones en la rapidez de hidrólisis.

Fuente: Elaboración propia.

Efecto del pH en el proceso sol-gel

La reacción de hidrólisis y condensación son procesos realizados por sustitución nucleofílica catalizada por una base o un ácido (Pope y Mackenzie, 1986). Ambos procesos se muestran en la **Figura 8** y se describen a continuación.

Catálisis ácida: cuando el proceso sol-gel es catalizado por un ácido, los hidrogeniones de la solución son atraídos por los electrones libres de los átomos de oxígeno del alcóxido de silicio, el cual genera una carga positiva sobre el oxígeno. Como resultado el silicio incrementa su electrofilia y es más susceptible al proceso de hidrólisis, lo mismo sucede con el silanol en la reacción de condensación. Los alcóxidos sin reaccionar **Si-(OR)₄** se hidrolizan más rápido que los parcialmente hidrolizados **Si(OR)_{4-x}(OH)_x** o los condensados **(-Si-O-Si-)** (Innocenzi, 2019).

Catálisis básica: En el caso de la catálisis básica los iones hidroxilos (OH⁻) atacan directamente al átomo de silicio y la reacción transcurre a través de un proceso concertado.

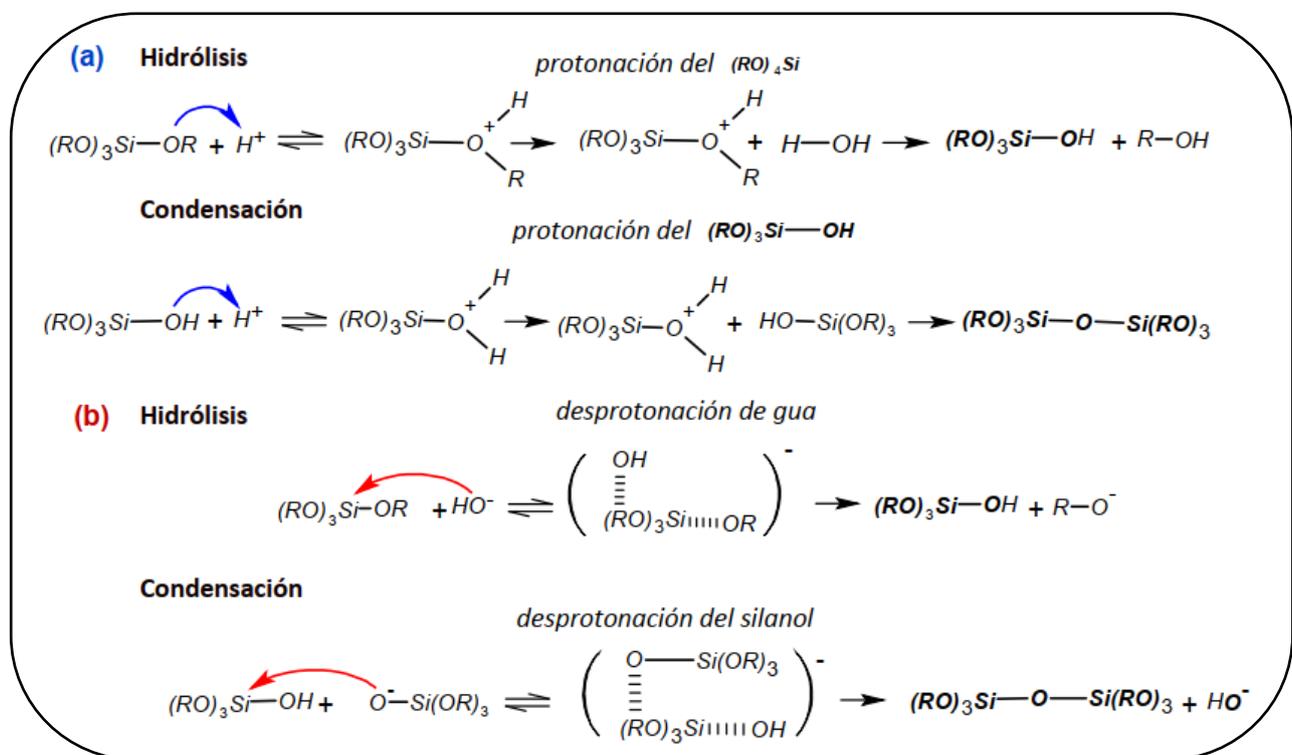


Figura 8. Procesos de catálisis ácida y básica del proceso sol-gel: (a) catálisis ácida, (b) catálisis básica.
Fuente: Elaboración propia.

Cuando el proceso sol-gel se realiza en valores bajos de pH (catálisis ácida) la reacción de hidrólisis es más rápida que la reacción de condensación, lo que favorece la formación de una red polimérica poco ramificada. Por otro lado, a valores altos de pH (catálisis básica) la reacción de condensación es más rápida que la reacción de hidrólisis favoreciéndose la formación de estructuras altamente ramificadas con anillos internos (Ying et ál., 1993). En el gel de sílice catalizado por una base los grupos hidroxilos (-OH) de los silanoles se encuentran atrapados dentro de los anillos internos, lo

que impide la formación de puentes de hidrógeno. Por lo contrario, en el gel de sílice catalizado por un ácido los grupos hidroxilos se encuentran en la superficie de la red esto facilita la formación de puentes de hidrógeno. Como consecuencia de la ubicación de los grupos hidroxilos, el gel de sílice catalizado por una base capta menos cantidad de agua que el gel de sílice catalizado por un ácido. Otra de las consecuencias de la formación de anillos internos es el incremento en el área superficial, dado que la adición de porosidad hace que la superficie aumente (**Figura 9**) (Ying et ál., 1993).

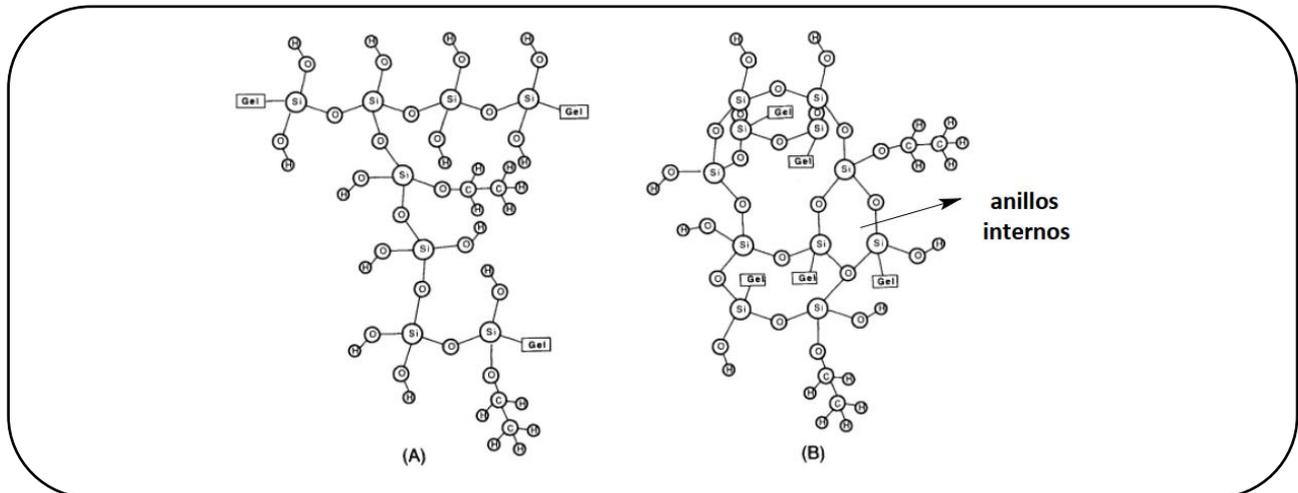


Figura 9. Representación de red de sílice (A) catalizado por un ácido (B) catalizado por una base.

Fuente: Ying et ál., 1993.

En términos generales, el proceso *sol-gel* inicia con la hidrólisis de los precursores, que posteriormente condensan para formar dímeros, trímeros y especies cíclicas que constituyen el sol o los primeros cluster de sílice, y en el proceso de gelación estos cluster se aproximan y coalescen generando un cluster mucho más grande. Si el proceso se realiza con un catalizador ácido el material será lineal o poco ramificada y la gelación ocurrirá por aglomeración de los cluster de sílice, los cuales condensarán para formar una red tridimensional. Si el proceso se realiza con un catalizador básico se producen pequeñas partículas que rápidamente se agregan para formar finalmente el gel. Por lo tanto, en condiciones ácidas el material que se forma es más denso que uno formado en condiciones básicas esto debido a los espacios libres entre las partículas (**Figura 10**) (Innocenzi, 2019).

Hay varias contribuciones en la literatura científica con respecto a la síntesis y aplicación del gel de sílice. Recomiendo a los lectores algunos artículos de investigación muy interesantes y entre estos no puede faltar el clásico artículo de Stöber et ál. (1968) que describe la síntesis de nanopartículas de sílice y también los trabajos de investigación realizados por Ibrahim et ál. (2010) y Fernandes et ál. (2019) ellos evalúan el efecto de la concentración de etanol, agua, catalizador, TEOS, temperatura y velocidad de agitación sobre el tamaño de las partículas de sílice. Otro trabajo interesante es el de Popova et ál. (2014), ellos realizaron la incorporación de resveratrol en sílice mesoporosa y sugieren

que es recomendable para la estabilización, liberación controlada y para evitar la degradación de esta biomolécula que posee amplias propiedades bioactivas.

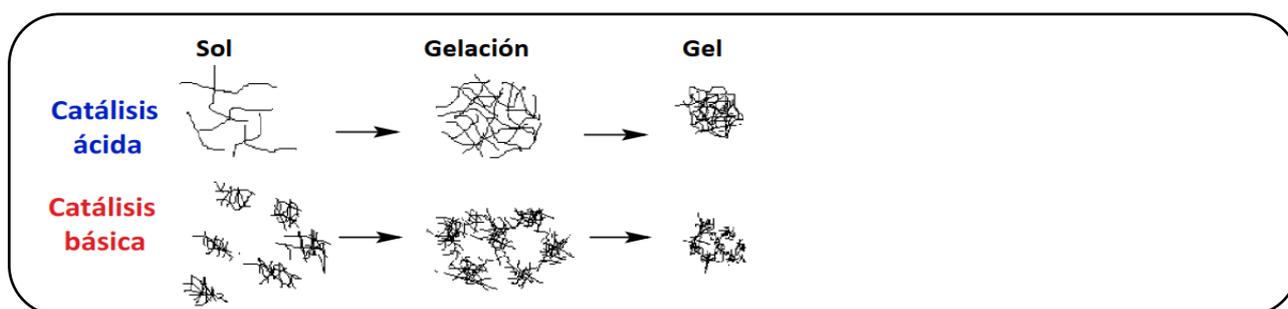


Figura 10. Representación de un gel catalizado por un ácido (más denso) y una base (menos denso por los espacios libre entre partículas).

Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, el óxido de silicio ha encontrado vasta aplicación en el desarrollo de recubrimiento de nanopartículas especialmente de nanopartículas magnéticas como la magnetita Fe₃O₄ ya que además de evitar la formación de aglomerados, permite la funcionalización con moléculas biológicas y ligandos (Lu et ál., 2008; Andrade et ál., 2009; Tessarolli et ál., 2019). También es posible inmovilizar rutenio, en la capa de sílice que recubre a las nanopartículas de magnetita, esto con el fin de usar el material como catalizador del proceso de hidrogenación de compuestos carbonílicos (Nasir y Varma, 2013).

2. CONCLUSIONES

La revisión presentada en este trabajo, muestra el proceso *sol-gel* en la síntesis de dióxido de silicio o sílice, que consiste en reacciones de hidrólisis de los precursores para formar los primeros cluster de sílice (sol), posteriormente estos cluster coalescen para formar el gel por medio de reacciones de condensación. Los alcóxidos de silicio son los precursores mayormente utilizados y al aumentar la longitud de la cadena orgánica de los mismos, la rapidez de hidrólisis disminuye, también puede emplearse organosilanos como precursores a partir del cual se obtendría materiales híbridos. El catalizador influye de manera significativa en la estructura y morfología del material sintetizado. Con el uso de un catalizador ácido se forma una red poco ramificada con mayor facilidad para captar agua pero un catalizador básico favorece la formación de una red altamente ramificada, que capta menor cantidad de agua y tiene mayor área superficial debido a los anillos internos que se forman dentro la estructura de la sílice. Se desea que el manuscrito sea de ayuda complementaria para quienes aborden el estudio de la química del proceso *sol-gel* en la preparación de óxido de silicio.

3. AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Prof. Janet González Bellido y Prof. Ana María Lechuga Chacón de la escuela de Química-UNSAAC por el constante apoyo que me brindan. También agradezco a los revisores por sus observaciones y sugerencias que contribuyeron a mejorar el manuscrito.

4. REFERENCIAS

- Alam, M., Takafuji, M., y Ihara, H. (2013). Thermosensitive hybrid hydrogels with silica nanoparticle cross linked polymer networks. *Journal of Colloid and Interface Science*, 405, 109-117. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2013.04.054>
- Andrade, A., Souza, D., Pereira, M., Fabris, J., y Domingues, R. (2009). Synthesis and characterization of magnetic nanoparticles coated with silica through a sol-gel approach. *Cerâmica*, 55(336), 420-424. <https://doi.org/10.1590/S0366-69132009000400013>
- Benvenuti, Edilson V., Moro, Celso C., Costa, Tania M. H., y Gallas, Marcia R. (2009). Materiais híbridos à base de sílica obtidos pelo método sol-gel. *Química Nova*, 32(7), 1926-1933. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422009000700039>
- Brinker, C. (1988). Hydrolysis and condensation of silicates: Effects on structure. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 100(1-3), 31-50. [https://doi.org/10.1016/0022-3093\(88\)90005-1](https://doi.org/10.1016/0022-3093(88)90005-1)
- Brinker, C., y Scherer, G. (1990). *Sol-Gel Science: The Physics and Chemistry of Sol-Gel Processing*. Academic Press.
- Britannica (1998a, July 20). *Gel*. *Encyclopedia Britannica*. <https://www.britannica.com/science/gel>
- Britannica (1998b, July 20). *Sol*. *Encyclopedia Britannica*. <https://www.britannica.com/science/sol-colloid>
- Danks, A. E., Hall, S. R., y Schnepf, Z. (2016). The evolution of ‘sol-gel’ chemistry as a technique for materials synthesis. *Materials Horizons*, 3(2), 91-112. <https://doi.org/10.1039/C5MH00260E>
- Dudziec, B., Żak, P., Dutkiewicz, M., Franczyk, A., y Marciniak, B. (2016). Synthesis of Functionalized Silsesquioxanes as Molecular Templates for Hybrid Materials. *Efficient Methods for Preparing Silicon Compounds*, 143-159. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803530-6.00010-X>
- Elma, M., y Setyawan, H. (2018). Synthesis of Silica Xerogels Obtained in Organic Catalyst via Sol Gel Route. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 175, 012008. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/175/1/012008>
- Fernandes, R., Raimundo, I., y Pimentel, M. (2019). Revising the synthesis of Stöber silica nanoparticles: A multivariate assessment study on the effects of reaction parameters on the particle size. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 577, 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2019.05.053>
- Guglielmi, M., y Carturan, G. (1988). Precursors for sol-gel preparations. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 100(1-3), 16-30. [https://doi.org/10.1016/0022-3093\(88\)90004-X](https://doi.org/10.1016/0022-3093(88)90004-X)
- Ibrahim, I., Zikry, A., y Sharaf, M. (2010). Preparation of spherical silica nanoparticles: Stöber silica. *Journal of American Science*, 6(11).
- Innocenzi, P. (2019). *The Sol-to-Gel Transition (2.ª ed)*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-20030-5>
- Iswar, S., Malfait, W., Balog, S., Winnefeld, F., Lattuada, M., y Koebel, M. (2017). Effect of aging on silica aerogel properties. *Microporous and Mesoporous Materials*, 241, 293-302. <https://doi.org/10.1016/j.micromeso.2016.11.037>
- Jitianu, A., Britchi, A., Deleanu, C., Badescu, V., y Zaharescu, M. (2003). Comparative study of the sol-gel processes starting with different substituted Si-alkoxides. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 319(3), 263-279. [https://doi.org/10.1016/S0022-3093\(03\)00007-3](https://doi.org/10.1016/S0022-3093(03)00007-3)
- José, N., y Sanchez, L. (2005). Materiais híbridos orgânico-inorgânicos: preparação e algumas aplicações. *Química Nova*, 28(2), 281-288. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422005000200020>
- Lu, Z., Dai, J., Song, X., Wang, G., y Yang, W. (2008). Facile synthesis of Fe₃O₄/SiO₂ composite nanoparticles from primary silica particles. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 317(1-3), 450-456. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2007.11.020>
- Machado, J., Marçal, A., Lima, O., Ciuffi, K., Nassar, E., y Calefi, P. (2011). Materiais híbridos orgânico-inorgânicos (ormosil) obtidos por sol-gel com potencial uso como filtro solar. *Química Nova*, 34(6), 945-949. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422011000600006>
- Nasir, R., y Varma, R. (2013). Magnetic Silica-Supported Ruthenium Nanoparticles: An Efficient Catalyst for Transfer Hydrogenation of Carbonyl Compounds. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 1(7), 805-809. <https://doi.org/10.1021/sc400032k>
- Pierre, A. (1998). *Introduction to sol-gel processing*. Kluwer Academic Publishers. Boston.

- Pope, A., y Mackenzie, J. (1986). Sol-gel processing of silica: II. The role of the catalyst. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 87(1-2), 185-198. [https://doi.org/10.1016/S0022-3093\(86\)80078-3](https://doi.org/10.1016/S0022-3093(86)80078-3)
- Popova, M., Szegedi, A., Mavrodinova, V., Novak Tušar, N., Mihály, J., Klébert, S., Benbassat, N., y Yoncheva, K. (2014). Preparation of resveratrol-loaded nanoporous silica materials with different structures. *Journal of Solid-State Chemistry*, 219, 37-42. <https://doi.org/10.1016/j.jssc.2014.07.002>
- Stöber, W., Fink, A., y Bohn, E. (1968). Controlled growth of monodisperse silica spheres in the micron size range. *Journal of Colloid and Interface Science*, 26(1), 62-69. [https://doi.org/10.1016/0021-9797\(68\)90272-5](https://doi.org/10.1016/0021-9797(68)90272-5)
- Tessarolli, B., Silva, P., Gallardo, E., y Magdalena, A. (2019). Síntese e caracterização de nanopartículas de Fe₃O₄@SiO₂. *Matéria (Rio de Janeiro)*, 24(4), e12506. <https://doi.org/10.1590/S1517-707620190004.0831>
- Turova, N., Turevskaya, E., Kessler, V., y Yanovskaya, I. (2002). *The Chemistry of Metal Alkoxides*. Springer US. <https://doi.org/10.1007/b113856>
- Ying, J., Benziger, J., y Navrotsky, A. (1993). Structural Evolution of Alkoxide Silica Gels to Glass: Effect of Catalyst pH. *Journal of the American Ceramic Society*, 76(10), 2571-2582. <https://doi.org/10.1111/j.1151-2916.1993.tb03983.x>

Contribución del autor

Autor	Contribución
Michael Azael Ludeña Huaman	Concepción y diseño, redacción del artículo, metodología, revisión, validación, búsqueda bibliográfica, búsqueda de información.

Citación sugerida: Ludeña, M. (2021). Proceso Sol-Gel en la síntesis de dióxido de silicio (SiO₂). *Revista Bases de la Ciencia*, 6(2), 1-12. DOI: https://doi.org/10.33936/rev_bas_de_la_ciencia.v%vi%i.2548 Recuperado de: <https://revistas.utm.edu.ec/index.php/Basedelaciencia/article/view/2548>

EFFECTO DEL pH Y SALES INORGÁNICAS EN LA DEGRADACIÓN DE COLORANTES INDUSTRIALES POR *Pleurotus djamor*

Mario Peñafiel-García^{1*}, Cristhopher Romero-Zambrano¹, Carlos Moreira-Mendoza¹, Ernesto Rosero-Delgado¹

¹Escuela de Ingeniería Química. Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas. Universidad Técnica de Manabí (UTM). Portoviejo, Manabí, Ecuador. E-mail: mario29javier03@gmail.com, mc_0096@hotmail.com, carlos.moreira@utm.edu.ec, ernestrosdel@gmail.com

*Autor para la correspondencia: mario29javier03@gmail.com

Recibido: 22-09-2020 / Aceptado: 05-07-2021 / Publicación: 30-08-2021

Editor Académico: Sedolfo Carrasquero¹

RESUMEN

En la presente investigación se planteó el uso de la cepa *Pd318* del hongo *Pleurotus djamor* como agente biorremediador, con el objetivo de evaluar su capacidad para degradar el colorante reactivo azul 19 (A19). Para ello se estudió la influencia que tienen cinco sales inorgánicas en el crecimiento y actividad lignolítica del hongo. Un cribado de sales inorgánicas en placa determinó que las sales $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ y $\text{MnSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ tienen mayor influencia en el desarrollo micelial y actividad lignolítica de la cepa. Ensayos de fermentación líquida (FEL) con diferentes combinaciones a distintas concentraciones de las sales de calcio y manganeso permitieron demostrar la capacidad de degradación del colorante azul 19 a los 7 días de fermentación líquida a temperatura ambiente y agitación constante. Los máximos porcentajes de degradación del colorante fueron obtenidos con las combinaciones A1B1 y A2B1 con 43,47% y 41,36%, respectivamente. Se observó que a un pH de 5 unidades se favorece la degradación del colorante. Los estudios en placa señalaron que la adición de sales de calcio y manganeso en 10 días de incubación favorecieron el desarrollo micelial y la actividad lignolítica de *Pd318*, mientras que en un sistema FEL de 7 días, únicamente la adición de manganeso influye favorablemente a la actividad lignolítica del hongo y en consecuencia a su capacidad de degradación de azul 19.

Palabras clave: Colorante azul 19, degradación de colorantes, enzimas lignolíticas, *Pleurotus djamor*.

EFFECT OF pH AND INORGANIC SALTS ON THE DEGRADATION OF INDUSTRIAL COLORS BY *Pleurotus djamor*

ABSTRACT

In the present investigation, the use of the *Pd318* strain of the *Pleurotus djamor* fungus as a bioremediation agent was proposed, with the aim of evaluating its ability to degrade reactive dye blue 19 (A19). For this, the influence of five inorganic salts on the growth and lignolytic activity of the fungus was studied. A plate screening of inorganic salts determined that the $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ and $\text{MnSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ salts have a greater influence on the mycelial development and lignolytic activity of the strain. Liquid fermentation tests (FEL) with different combinations at different concentrations of the calcium and manganese salts allowed to demonstrate the degradation capacity of the blue dye 19, after 7 days of liquid fermentation at room temperature and constant stirring, the maximum degradation percentages of the dye were obtained with the combinations A1B1 and A2B1 with 43.47% and 41.36% respectively. It was observed that at a pH of 5 units the

degradation of the dye is favored. The plate studies indicated that the addition of calcium and manganese salts in 10 days of incubation, favored mycelial development and the lignolytic activity of *Pd318*, while in a 7 day FEL system, only the addition of manganese favorably influenced the lignolytic activity of the fungus and consequently its ability to break down blue 19.

Keywords: Blue dye 19, dye degradation, lignolytic enzymes, *Pleurotus djamor*.

EFEITO DO pH E DOS SAIS INORGÂNICOS NA DEGRADAÇÃO DE CORANTES INDUSTRIAIS POR PLEUROTUS DJAMOR

RESUMO

Na presente investigação, foi proposta a utilização da cepa Pd318 do fungo *Pleurotus djamor* como agente de biorremediação, com o objetivo de avaliar sua capacidade de degradar o corante reactivo azul19 (A19). Para isso, foi estudada a influência de cinco sais inorgânicos no crescimento e na atividade lignolítica do fungo. Uma triagem de placa de sais inorgânicos demonstrou que os sais $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ e $\text{MnSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ têm maior influência no desenvolvimento micelial e na atividade lignolítica da cepa. Os testes de fermentação líquida (FEL) com diferentes combinações em diferentes concentrações dos sais de cálcio e manganês permitiram demonstrar a capacidade de degradação do corante azul 19 após 7 dias de fermentação líquida em temperatura ambiente e agitação constante. As percentagens máximas de degradação do corante foram obtidas com as combinações A1B1 e A2B1 com 43,47% e 41,36%, respectivamente. Observou-se que a um pH de 5 unidades a degradação do corante é favorecida. Os estudos em placa indicaram que a adição de sais de cálcio e manganês em 10 dias de incubação favoreceu o desenvolvimento micelial e a atividade lignolítica de Pd318, enquanto em um sistema FEL de 7 dias, apenas a adição de manganês influenciou favoravelmente a atividade lignolítica do fungo e, conseqüentemente, sua capacidade de decompor o azul 19.

Palavras-chave: Corante azul 19, degradação de corante, enzimas lignolíticas, *Pleurotus djamor*.

1. INTRODUCCIÓN

Los colorantes industriales son sustancias utilizadas en procesos de tinción de textiles, cosméticos y otros productos comerciales. A nivel industrial los procesos de tinción generan grandes cantidades de efluentes coloreados que muchas veces son vertidos en los cuerpos de agua sin recibir ningún tipo de tratamiento fisicoquímico (Singh & Arora, 2011). La contaminación por colorantes en los ecosistemas acuáticos no solo se limita al problema estético que representan, sino también otros efectos negativos como la disminución de la transmisión de la luz solar, lo cual provoca que los organismos fotosintéticos disminuyan su actividad y en consecuencia se produzca una disminución de los niveles de oxígeno disuelto (Ghaly, Ananthashankar, Alhattab & Ramakrishnan, 2014). Algunos estudios comparativos demuestran que los colorantes inducen efectos mutagénicos y carcinogénicos en organismos de diferente complejidad biológica, por lo que suponen un riesgo para la salud de microorganismos y de animales superiores, incluido el ser humano (Novotný et al., 2006; De Lima, et al., 2007 & Balakrishnan, et al., 2016).

El uso de hongos de pudrición blanca en procesos de tratamientos de efluentes industriales coloreados fue propuesto a partir de la década de los 80 (Rodríguez, Pickard & Vazquez-Duhalt, 1999), la utilización de sistemas biológicos para destruir o transformar compuestos tóxicos para el medio ambiente se conoce como biorremediación (Atlas & Unterman, 1998). Los hongos de pudrición blanca pertenecen a la clase de basidiomicetos, hongos que son conocidos por su capacidad de degradar lignina (Quintero, 2011). El uso de este tipo de hongos en la biorremediación es debido a un sistema enzimático extracelular de actividad no específica producido por el metabolismo de los mismos, las enzimas más significativas expresadas por estos organismos son lacasas (L), lignina peroxidasa (LiP), manganeso peroxidasa (MnP) y veratril peroxidasa (VP), caracterizadas por tener una fuerte acción oxidante y por la capacidad de actuar una amplia gama de compuestos como herbicidas, pesticidas, hidrocarburos y colorantes industriales (Ijoma, & Tekere, 2017; Wali, Gupta, Gupta, Sharma, Salgotra & Sharma, 2020 & Zhuo, et al., 2011;). Entre los hongos con mayor potencial a emplearse en los tratamientos de biorremediación se encuentran citados *Phanerochaete chrysosporium*, *Trametes versicolor* y *Pleurotus spp* (Cardona, Osorio & Quintero, 2009), sus principales ventajas su tolerancia a concentraciones considerablemente altas de compuestos contaminantes y capacidad de crecimiento a pH ácidos (Magan, Fragoeiro & Bastos, 2010).

La fermentación líquida (FEL) es uno de los métodos que permite un mayor control y manipulación de las condiciones de cultivo, puesto que durante estos ensayos es posible mantener la uniformidad de factores como el pH, temperatura, concentración de nutrientes y concentración del contaminante que se desea evaluar (Lee, et al., 2004).

Los microorganismos juegan un papel importante en la bioconversión de residuos orgánicos y, por tanto, se han vuelto prometedores para la obtención de enzimas de valor añadido (Menezes, et al., 2017). El uso de residuos lignolíticos en el medio de cultivo a modo de inductores provocan en los hongos basidiomicetos la producción de enzimas extracelulares, las cuales les permiten acceder a los nutrientes contenidos en los residuos (Thiribhuvanamala, Kalaiselvi, Parthasarathy, & Anusha, 2017).

La presente investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto de la adición de sales de manganeso, calcio, magnesio, sodio y potasio, y de la variación en el pH inicial sobre la degradación del colorante textil azul reactivo 19 (A19) por el hongo *Pleurotus djamor*.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Muestra de hongo

La muestra de *Pleurotus djamor* fue obtenida del banco de cepas del Laboratorio de Investigación Científica de la Universidad Técnica de Manabí, codificada como *Pd318*, la cual estaba contenida en Agar Papa Dextrosa (PDA) para su conservación y usos posteriores.

2.2. Preparación del soporte sólido

El soporte sólido utilizado para estimular la producción de enzimas fue el bagazo de caña de azúcar, el cual fue cortado, lavado y desinfectado con una solución de hipoclorito de sodio al 10%. Adicionalmente, fue sometido a un proceso de secado hasta alcanzar aproximadamente un 12% de humedad, luego se redujo el tamaño de partícula a 5 mm de diámetro mediante trituración mecánica y tamizado (Daza & Vera, 2019). El bagazo de caña fue obtenido de una licorería artesanal ubicada en el cantón Junín de la provincia de Manabí-Ecuador.

2.3. Cribado de inorgánicas en placa

El cribado de sales inorgánicas se realizó utilizando un medio sólido con la siguiente composición base para el control experimental; experimento A: Sulfato de amonio $[(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4]= 1 \text{ g.L}^{-1}$; sacarosa $[\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}]= 9,37 \text{ g.L}^{-1}$; peptona= $2,5 \text{ g.L}^{-1}$; ABTS (ácido 2,2 azino bis (3-etilbenzo tiazolin-6 sulfónico)= $0,25 \text{ g.L}^{-1}$; agar agar= 20 g.L^{-1}) (Daza & Vera, 2019; Jo, Kim, Seok, Jung & Park, 2014). El medio base fue complementado con 1 sal inorgánica para los experimentos B: cloruro de sodio, $[\text{NaCl}]$, C: fosfato monopotásico $[\text{KH}_2\text{PO}_4]$, D: sulfato de magnesio heptahidratado $[\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}]$, E: sulfato de manganeso pentahidratado $[\text{MnSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}]$ y F: cloruro de calcio dihidratado $[\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}]$, a una concentración de 1 g.L^{-1} c/u (Cardona, et al., 2009; Grandes, Téllez, Delgado, Rojas & Bibbins, 2013; Rojas & Hormaza, 2015 & Yonni, Fasoli & Álvarez, 2008) con el fin de

evaluar si las sales inorgánicas empleadas tienen efecto en el crecimiento micelial y expresión enzimática en el hongo *Pleurotus djamor* (cepa *Pd318*). Discos de micelio de *Pleurotus djamor* (cepa *Pd318*) de 5 mm de diámetro contenidos en agar papa dextrosa (PDA) se colocaron en el centro de cada placa de Petri (85 mm) que contenían aproximadamente 20 mL del medio de cultivo respectivo para los experimentos A, B, C, D, E y F. Cada medio experimental fue ajustado a pH= 5 utilizando hidróxido de sodio [NaOH] o ácido clorhídrico [HCl] al 1 meq.L⁻¹. Todos los medios experimentales se realizaron por duplicado. Los hongos fueron incubados en oscuridad durante 10 días a 29°C. Posteriormente, se examinó cada día el aumento del diámetro del halo de oxidación de ABTS contenido en los medios experimentales, el crecimiento micelial y la densidad de la colonia.

2.4. Efecto de la adición de sales en la degradación

El efecto de la adición de sales en la degradación del colorante textil A19 fue evaluado en un sistema de fermentación líquida (FEL), el cual se realizó en tubos Falcon de 50 mL que contenían 0,15 g del soporte sólido y 15 mL de un medio de cultivo sintético con la siguiente composición: sulfato de amonio [(NH₄)₂SO₄]= 1 g.L⁻¹; sacarosa [C₁₂H₂₂O₁₁]= 9,37 g.L⁻¹; y colorante azul 19 [A19]= 200 mg.L⁻¹ (Daza & Vera, 2019). Adicionalmente, se agregaron las sales inorgánicas seleccionadas en el cribado, siguiendo un diseño factorial multinivel de orden 3² mostrado en la **Tabla 1**.

Tabla 1. Atributos del diseño factorial 3² en la degradación del colorante textil A19.

Sales	Nivel	Código de nivel	Concentración (g.L ⁻¹)
Factor A	Bajo	A1	0
	Intermedio	A2	1,5
	Alto	A3	3,0
Factor B	Bajo	B1	0
	Intermedio	B2	1,5
	Alto	B3	3,0

Fuente: Elaboración propia.

El medio fue ajustado a pH= 5 utilizando hidróxido de sodio [NaOH] o ácido clorhídrico [HCl] al 1 meq.L⁻¹ según el caso. Todos los tubos se esterilizaron en autoclave a 121 °C por 15 minutos y posteriormente fueron inoculados con un disco de micelio en agar de 5 mm de diámetro. Las combinaciones fueron realizadas por duplicado, adicionando tres tubos por cada combinación sin inocular con el objetivo de descartar la adsorción del colorante por el soporte sólido. Los tubos se incubaron en agitación vertical moderada por siete días a temperatura ambiente (Daza & Vera, 2019). La concentración de A19 fue evaluada en un espectrofotómetro THERMO SCIENTIFIC EVOLUTION 60S midiendo la absorbancia a 596 nm, la cual corresponde a la longitud de onda que absorbe A19 (Palmieri, Cennamo & Sannia, 2005). El porcentaje de degradación de A19 se calculó mediante la siguiente ecuación propuesta por Rojas y Hormaza (2016):

$$\%D = \frac{STP - CTP}{CI} * 100$$

Donde “%D” es el porcentaje de degradación del colorante A19, “CI” es la concentración inicial del colorante A19 en mg. L⁻¹, “STP” es la concentración final del colorante A19 del tratamiento sin presencia de *Pleurotus djamor* (cepa *Pd318*) (absorción del soporte sólido) en mg. L⁻¹ y “CTP” es la concentración final del colorante A19 del tratamiento en presencia de *Pleurotus djamor* (cepa *Pd318*) en mg. L⁻¹.

2.5. Efecto del pH inicial en la degradación de A19

En la evaluación del efecto del pH inicial en un sistema de fermentación líquida, se establecieron 3 niveles de pH, bajo, intermedio y alto: 2, 5 y 8 unidades, respectivamente (Barchuk, Fonseca, Giorgio, & Zapata, 2019 & Oviedo, Casas, Valencia & García, 2016). El ensayo se realizó utilizando la composición del medio de cultivo sintético de las combinaciones que registraron la mayor degradación durante el ensayo del apartado anterior. En total se evaluó el pH inicial a tres niveles para cada una de las combinaciones seleccionadas. El pH fue ajustado utilizando soluciones hidróxido de sodio [NaOH] o ácido clorhídrico [HCl] al 1 meq.L⁻¹. Los tubos se prepararon, se inocularon y se incubaron siguiendo el procedimiento mencionado en el experimento anterior. La concentración de A19 fue evaluada por espectrofotometría (Palmieri, et al., 2005).

2.6. Análisis estadísticos

El procesamiento de los datos estadísticos se efectuó mediante el software *Statgraphics Centurion XVI*. Para la selección de las sales inorgánicas se realizó una comparación de las medias del crecimiento micelial y expansión del halo de oxidación de ABTS, la selección se hizo utilizando una prueba de rangos múltiples mediante el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. El efecto de la adición de las sales fue evaluado mediante un diseño factorial multinivel de orden 3² mostrado en la **Tabla 1**. Las mejores combinaciones de sales se seleccionaron mediante la prueba de rangos múltiples. De la misma manera, el pH inicial óptimo para la degradación de A19 fue seleccionado comparando las medias del porcentaje de degradación mediante la prueba de rangos múltiples.

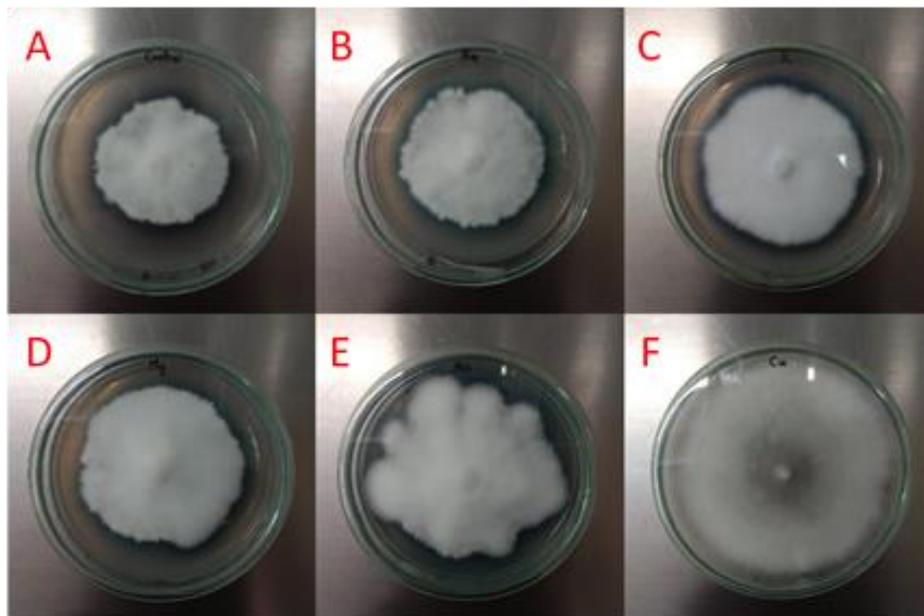
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Cribado de sales inorgánicas en placa

El crecimiento micelial en los experimentos: A, B, C, D y E fue similar con estructuras miceliales compactas y densas, a excepción del experimento F (**Figura 2**). En este caso, el micelio creció

desarrollando estructuras ramificadas, largas y de baja densidad, lo cual ha sido observado en otros estudios que indican que la adicción de Ca^{2+} provoca un crecimiento granular y más ramificado del micelio (Pera & Callieri, 1997).

Por otro lado, en todos los cultivos se observó una formación de un halo de color verde de diferente tamaño, el cual rodeaba el perímetro del micelio, esta coloración se debe a un compuesto producido por la oxidación que sufre el ABTS a causa de las enzimas lignolíticas (Bourbonnais, Leech & Paice, 1998). Según Montoya (2014), la longitud del diámetro del halo de oxidación de ABTS puede ser utilizada como un indicador para comparar la capacidad de expresión de la enzima lacasa entre varias cepas y especies de hongos.



A: Control, B: NaCl, C: KH_2PO_4 , D: $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, E: $\text{MnSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, F: $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

Figura 2. Crecimiento micelial y actividad lignolítica de *Pleurotus djamor* (cepa Pd318) en medio sólido complementado con sales inorgánicas. A los 10 días de fermentación a 29°C .

Fuente: Elaboración propia.

En la **Tabla 2** se observa que la presencia de las sales de calcio y manganeso favoreció al crecimiento micelial, alcanzando una media de 9,00 cm y 7,93 cm, respectivamente. De la misma manera, la mayor expansión del halo de oxidación de ABTS fue observado con la adición de las sales de calcio y manganeso, alcanzando una media de 9,00 cm y 8,23 cm al décimo día de incubación. El medio con la sal de calcio reportó el crecimiento más rápido, debido a que al término del séptimo día el micelio ya había colonizado toda la superficie de la placa de Petri, en comparación con los experimentos que no contaban con esta sal, los cuales mostraron un crecimiento de aproximadamente el 60% de la superficie.

Tabla 2. Crecimiento micelial y presencia de actividad de la enzima Lacasa de *Pleurotus djamor* (cepa Pd318) a 29°C

a los 10 días de fermentación.

Sal inorgánica	Crecimiento del micelio (cm)	Actividad Lacasa en ABTS (cm)	Densidad del micelio
Control	5,83±0,35 ^a	6,30±0,33 ^a	MD
NaCl	5,98±0,14 ^a	6,38±0,10 ^a	MD
MgSO ₄ .7H ₂ O	6,60±0,12 ^b	6,95±0,08 ^b	HD
KH ₂ PO ₄	6,68±0,10 ^b	7,13±0,02 ^b	HD
MnSO ₄ .5H ₂ O	7,93±0,18 ^c	8,23±0,22 ^c	HD
CaCl ₂ .2H ₂ O	9,00±0,00 ^d	9,00±0,00 ^d	LD

HD: Densidad alta, MD: Densidad media, LD: Densidad baja. ±: Desviación estándar

^{a-d}: Los valores en las columnas de crecimiento micelial y actividad de la enzima lacasa en ABTS con diferente letra difieren en la prueba de rango múltiple de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. ($\alpha=0,05$).

Fuente: Elaboración propia.

3.2. Efecto de la adición de sales en la degradación de A19

Los resultados mostraron que a medida que la concentración de sales de manganeso (Factor A) y calcio (Factor B) disminuyó se maximizó la degradación de A19. Los valores máximos de degradación se registraron en las combinaciones A1B1 (43,47%) y A2B1 (41,36%) (**Tabla 3**). Los porcentajes de decoloración obtenidos fueron menores que los reportados por Cardona et al. (2009), los cuales obtuvieron entre 82 y 98% de decoloración de medios líquidos en colorantes industriales. De igual manera, Grandes et al. (2013), obtuvieron hasta 95% de decoloración de A19 en ensayos de fermentación líquida, lo cual podría deberse a que estos investigadores no utilizan un soporte sólido en el medio de cultivo.

Tabla 3. Efecto combinado de las sales de MnSO₄.5H₂O (factor A) y CaCl₂.2H₂O (factor B) en la degradación de A19 (200 mg.L⁻¹) por *Pleurotus djamor* (cepa Pd318) a 29°C. pH= 5 a los 7 días FEL.

Combinación	Concentración Inicial (mg.L ⁻¹)	Concentración final (mg.L ⁻¹)	Absorción soporte sólido (%)	Degradación azul19 (%)	Color ^a
A1B1	197,33	18,88±0,03	46,96±0,26	43,47±0,02 ^a	R-
A1B2	196,26	9,19±0,11	63,76±0,83	31,75±0,07 ^b	R-
A1B3	198,12	19,33±1,59	71,65±0,14	18,48±0,98 ^{cd}	R+
A2B1	196,29	12,35±1,61	52,60±0,89	41,36±1,00 ^a	R-
A2B2	203,34	18,36±3,97	70,27±0,21	19,83±2,39 ^d	R+
A2B3	195,11	20,85±4,77	73,77±1,03	15,84±3,00 ^e	R-
A3B1	196,36	10,66±2,65	65,33±0,11	29,41±1,66 ^b	R-
A3B2	205,23	14,84±0,14	70,99±0,32	20,66±0,08 ^d	R-
A3B3	196,41	28,21±5,60	73,94±0,84	11,82±3,49 ^e	G

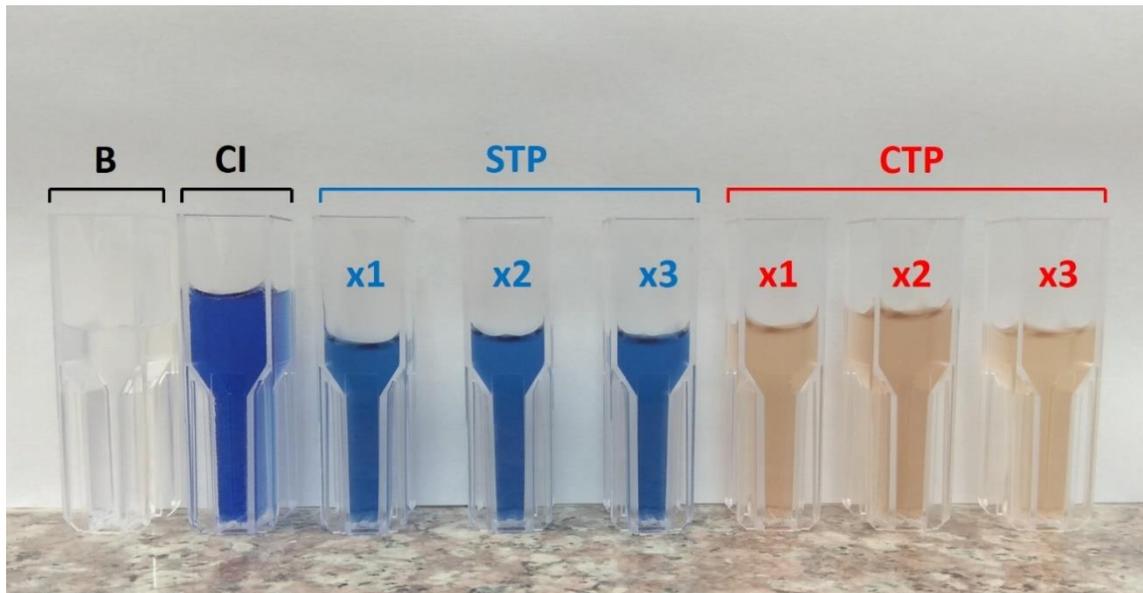
a: R+: rojo, R-: rojo menos intenso, G: gris.

^{a-d}: Los porcentajes de degradación de azul 19 con diferente letra difieren en la prueba de rango múltiple de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. ($\alpha=0,05$). ±: Desviación estándar.

Fuente: Elaboración propia.

En las réplicas que no fueron sometidas al tratamiento de *Pleurotus djamor* (cepa Pd318) (STP) se observó que a pH de 5 unidades y en función de la concentración de sales en el medio de cultivo, el soporte sólido absorbió entre el 46 y 73% de la concentración inicial de A19. En la **Figura 3** se

observa una diferencia en la intensidad del colorante entre los tratamientos en presencia de la cepa *Pd318* del hongo *Pleurotus djamor* y los que no contenían la misma.



B: blanco de medición, CI: concentración inicial de A19, STP: réplicas sin *Pleurotus djamor* (cepa *Pd318*), CTP: réplicas con *Pleurotus djamor* (cepa *Pd318*).

Figura 3. Efecto combinado de $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ y $\text{MnSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ en la degradación de A19 ($200 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$) por *Pleurotus djamor* (cepa *Pd318*) a los 7 días FEL. Combinación A1B1.

Fuente: Elaboración propia.

A partir del tercer día de fermentación se observó que en casi todas las combinaciones la solución empezó a tomar un cambio de coloración entre violeta y rojo (R+) hasta alcanzar el color rojo menos intenso (R-) al séptimo día de fermentación, como se observa en la Figura 4. Toh et al. (2003), mencionaron que la acción de enzimas lignolíticas sobre los colorantes reactivos como A19 puede provocar la ruptura del mismo en múltiples compuestos. Al respecto, Christie (2001) informa que es posible que el cambio de coloración se deba a la ruptura del cromóforo aromático derivado de la antraquinona y del grupo auxocrómico ($-\text{NH}_2$), los cuales son responsables de la intensidad y coloración de A19. Por otra parte, se descartó que este fenómeno se deba a una posible reacción entre las sales de Mn y Ca adicionadas al medio, ya que en la combinación A1B1 que no contiene las sales mencionadas, pero si contiene el hongo *Pleurotus djamor* (cepa *Pd318*), se observó un cambio de coloración similar a las de los tratamientos que tienen presencia de estas sales (**Figura 4**).

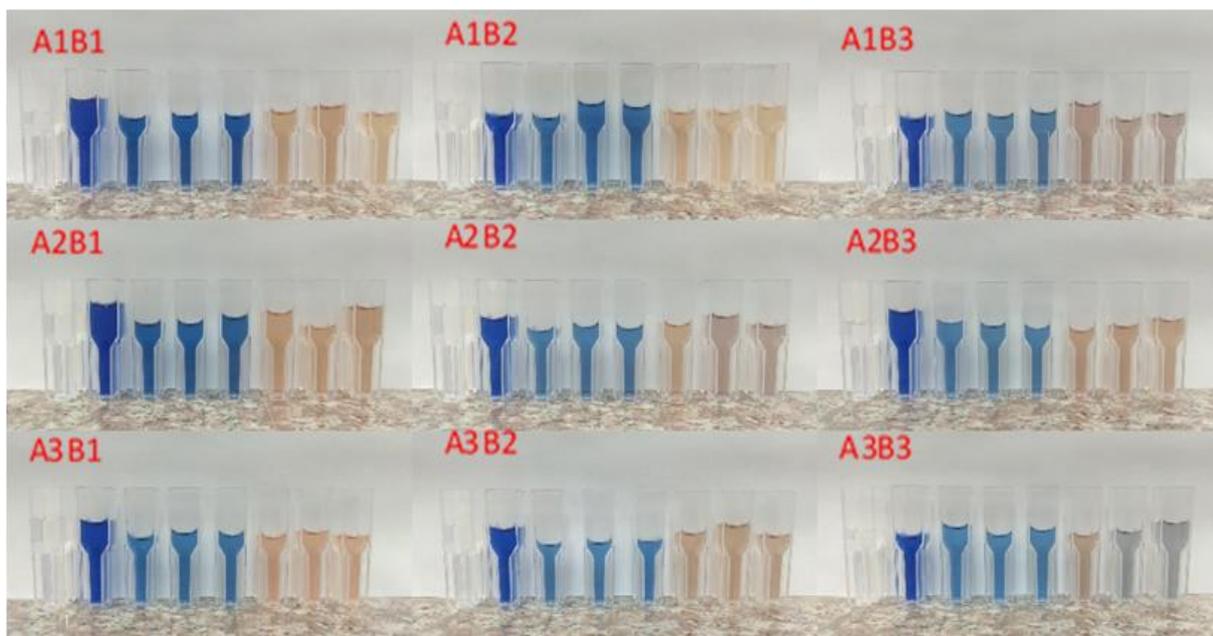


Figura 4. Efecto combinado de $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ y $\text{MnSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ en la degradación de A19 ($200 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$) por *Pleurotus djamor* (cepa Pd318) a los 7 días FEL.
Fuente: Elaboración propia.

El diagrama de Pareto (**Figura 5**) señala los efectos que tienen las sales de manganeso (A) y calcio (B) en la degradación de A19. En el diagrama se puede observar que cuando las sales son agregadas de manera individual (A y B color azul), estas tienen mayor efecto en la degradación del colorante textil A19, y que la interacción de conjunta de las sales (AB color gris) no tiene un efecto relevante. Estos efectos se corroboran con los datos de porcentaje de degradación de azul 19 mostrados en la **Tabla 3**.

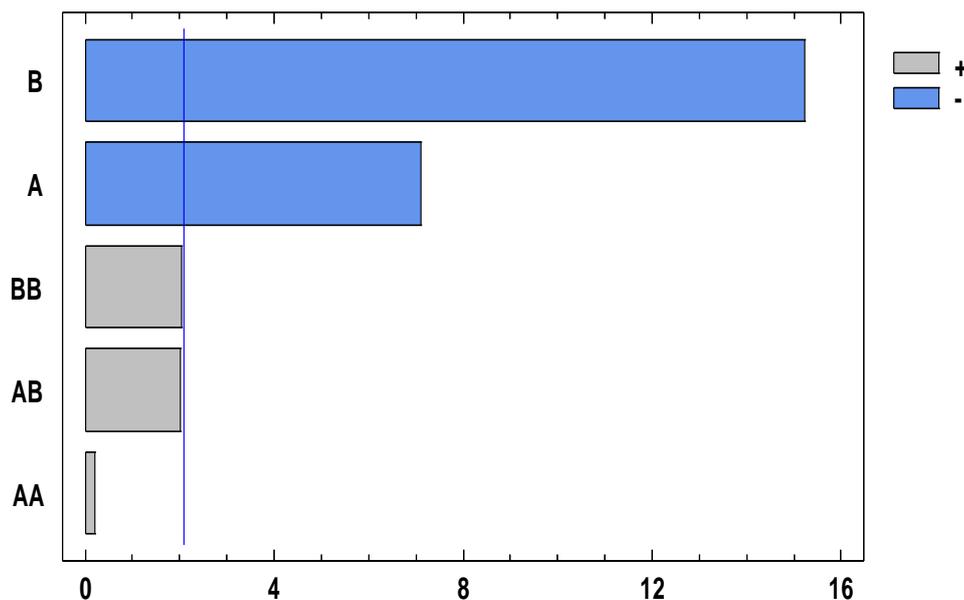


Figura 5. Diagrama de Pareto estandarizado para el porcentaje de degradación para el efecto combinado de $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ y $\text{MnSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ en la degradación de azul 19 ($200 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$) por *Pleurotus djamor* (cepa Pd318) a los 7 días FEL.
Fuente: Elaboración propia.

3.3. Efecto del pH inicial en la degradación de A1

Los niveles de pH evaluados en las combinaciones de sales seleccionadas muestran que *Pleurotus djamor* (cepa *Pd318*) presenta una mayor expresión lignolítica a pH de 5 unidades debido a que a ese valor se observaron los mayores porcentajes de degradación del colorante A19, mientras que a pH de 8 unidades la degradación ocurrió en menor medida; por su parte, a pH de 2 unidades no existe desarrollo alguno del hongo (**Tabla 4**). La prueba de rangos múltiples ($\alpha=0,05$) determinó que no existen grupos homogéneos en los distintos niveles de pH evaluados. Los máximos porcentajes de degradación fueron alcanzados a pH= 5, 43,47% para la combinación A1B1 y 41,36% para la combinación A2B1. Estos resultados concuerdan con lo reportado por Guillén, et al. (1998), quienes determinaron que la mayor velocidad de crecimiento en *P. ostreatus* se encuentra en el rango de pH de 4,5 a 5,5. De la misma manera, Rawte y Diwan (2011) determinaron que el pH óptimo para una fermentación con hongos del género *Pleurotus* es de pH= 5, adicionalmente reportaron que con valores inferiores a pH= 3 no se observa ningún crecimiento.

Tabla 4. Efecto del pH en la degradación de A19 por *Pleurotus djamor* (cepa *Pd318*) a 29°C.

Combinación	Nivel de pH	% Degradación
A1B1	2	NEC
	5	43,47±0,02
	8	33,96±2,33
A2B1	2	NEC
	5	41,36±1,00
	8	19,04±1,00

NEC: no existe desarrollo del hongo.

±: Desviación estándar

Fuente: Elaboración propia.

4. CONCLUSIONES

El hongo basidiomiceto *Pleurotus djamor* (cepa *Pd318*) demostró tener la capacidad de degradar el colorante textil azul 19 (A19) en un sistema de fermentación líquida (FEL) utilizando bagazo de caña de azúcar pretratado como soporte sólido e inductor enzimático. La cepa fue capaz de crecer en presencia de una concentración alta del colorante (200 mg.L⁻¹) y reducir este valor en un 43,47% a un inicial de 5 unidades. Los experimentos demostraron que el pH del medio de cultivo fue un factor determinante para el desarrollo del hongo y su expresión de enzimas lignolíticas ya que, el hongo *Pleurotus djamor* presentó un mayor desarrollo y expresión a pH de 5 unidades. El sistema biológico evaluado puede ser usado como agente biorremediador en aguas contaminadas con colorantes, y ser una alternativa al tratamiento de efluentes con dicha problemática. Es importante considerar que durante el proceso el soporte sólido adsorbe un alto porcentaje del colorante presente en el medio,

por lo cual sería conveniente evaluar un sistema mixto de biorremediación de aguas contaminadas con alta carga de colorantes.

5. REFERENCIAS

- Atlas R., & Unterman R. (1998). Bioremediation. *Manual of Industrial Microbiology and Biotechnology*. Second edition. SM Press, Washington D.C., 666-681.
- Balakrishnan V. K., Shirin S., Aman A. M., de Solla S. R., Mathieu-Denoncourt J. & Langlois V. S. (2016). Genotoxic and carcinogenic products arising from reductive transformations of the azo dye, Disperse Yellow 7. *Chemosphere*, 146, 206-215. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.11.119>
- Barchuk M., Fonseca M., Giorgio E. & Zapata P. (2019). Efectos de pH, temperatura y tiempo de incubación sobre el crecimiento fúngico y la actividad lacasa en *Trametes villosa* BAFC 2755. *Revista de Ciencia y Tecnología*, 32(1), 91-98. <https://doi.org/10.36995/j.recyt.2019.32.015>
- Bourbonnais R., Leech D. & Paice M. (1998). Electrochemical analysis of the interactions of laccase mediators with lignin model compounds. *Biochimica et Biophysica Acta*, 1379(3), 381-390. [https://doi.org/10.1016/S0304-4165\(97\)00117-7](https://doi.org/10.1016/S0304-4165(97)00117-7)
- Cardona M., Osorio J. & Quintero J. (2009). Degradación de colorantes industriales con hongos ligninolíticos. *Revista de Ingeniería Universidad de Antioquía*, 48, 27-37. <http://www.scielo.org.co/pdf/rfiua/n48/n48a03.pdf>
- Chan Cupul, W., Heredia Abarca, G. P. & Rodríguez Vázquez, R. (2016). Aislamiento y evaluación de la actividad enzimática ligninolítica de macromicetos del estado de Veracruz, México. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 32(3), 339-351. <https://doi.org/10.20937/rica.2016.32.03.08>
- Christie R. (2001) Colour Chemistry. *The Royal Society of Chemistry*, Cambridge, United Kingdom.
- Daza V. & Vera P. (2019). Diseño de un medio de cultivo para la producción de metabolitos con aplicación práctica en la biodegradación de colorantes industriales. <https://utm.edu.ec/component/search/?searchword=Diseño%20de%20un%20medio%20de%20cultivo&searchphrase=all>
- De Lima, R. O. A., Bazo, A. P., Salvadori, D. M. F., Rech, C. M., de Palma Oliveira, D. & de Aragão Umbuzeiro, G. (2007). Mutagenic and carcinogenic potential of a textile azo dye processing plant effluent that impacts a drinking water source. *Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*, 626(1-2), 53-60. <https://doi.org/10.1016/j.mrgentox.2006.08.002>
- Ghaly A. E., Ananthashankar R., Alhattab M. & Ramakrishnan V.V. (2014). Production, characterization and treatment of textile effluents: a critical review. *Journal of Chemical Engineering & Process Technology*, 5(1), 1-19. <https://doi.org/10.4172/2157-7048.1000182>
- Grandes A., Díaz G., Téllez M., Delgado R., Rojas M. & Bibbins M. (2013). Ligninolytic activity patterns of *Pleurotus ostreatus* obtained by submerged fermentation in presence of 2,6-dimethoxyphenol and remazol brilliant blue R dye. *Preparative Biochemistry and Biotechnology*, 43(5), 468-480. <https://doi.org/10.1080/10826068.2012.746233>
- Guillén G., Márquez F. & Sánchez J. 1998. Producción de biomasa y enzimas ligninolíticas por *Pleurotus ostreatus* en cultivo sumergido. *Revista Iberoamerica de Micología*, 15, 302-306. <http://reviberoammicol.com/1998-15/302306.pdf>
- Ijoma, G. N., & Tekere, M. (2017). Potential microbial applications of co-cultures involving ligninolytic fungi in the bioremediation of recalcitrant xenobiotic compounds. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 14(8), 1787-1806. <https://doi.org/10.1007/s13762-017-1269-3>
- Jo W. S., Kim D. G., Seok S. J., Jung H. Y. & Park S. C. (2014). The culture conditions for the mycelial growth of *Auricularia auricula-judae*. *Journal of Mushrooms*, 12(2), 88-95. <https://doi.org/10.14480/JM.2014.12.2.88>
- Lee B. C., Bae J. T., Pyo H. B., Choe T. B., Kim S. W., Hwang H. J. & Yun J. W. (2004). Submerged culture conditions for the production of mycelial biomass and exopolysaccharides by the edible Basidiomycete *Grifola frondosa*. *Enzyme and Microbial Technology*, 35(5), 369-376. <https://doi.org/10.1016/j.enzmictec.2003.12.015>
- Magan N., Fragoeiro S. & Bastos C. (2010). Environmental factors and bioremediation of xenobiotics using white rot fungi. *Mycobiology*, 38(4), 238-248. <https://doi.org/10.4489/myco.2010.38.4.238>
- Menezes D.B., Brazil O. A., Romanholo-Ferreira L. F., de Lourdes T. M., Ruzene D. S., Silva D. P. & Hernández-Macedo M. L. (2017). Prospecting fungal ligninases using corncob lignocellulosic fractions. *Cellulose*, 24(10), 4355-4365. <https://doi.org/10.1007/s10570-017-1427-2>
- Montoya S., Sánchez O. & Levin L. (2014). Evaluación de actividades endoglucanasa, exoglucanasa, lacasa y lignina peroxidasa en diez hongos de pudrición blanca. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 12(2), 115-124. <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v12n2/v12n2a13.pdf>
- Novotný Č., Dias N., Kapanen A., Malachová K., Vándrovcová M., Itävaara M. & Lima N. (2006). Comparative use of bacterial, algal and protozoan tests to study toxicity of azo-and anthraquinone dyes. *Chemosphere*, 63(9), 1436-1442. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2005.10.002>

- Oviedo J., Casas A., Valencia J. & García L. (2016). Evaluación de tres variables de crecimiento del *Pleurotus pulmonarius* sobre tusa de maíz empleando procesamiento digital de imágenes. *Información tecnológica*, 27(5), 27-36. <https://doi.org/10.4067/s0718-07642016000500004>
- Palmieri G., Cennamo G. & Sanna G. (2005). Remazol brilliant blue R decolourisation by the fungus *Pleurotus ostreatus* and its oxidative enzymatic system. *Enzyme and Microbial Technology*, 36(1), 17-24. <https://doi.org/10.1016/j.enzmictec.2004.03.026>
- Pera L. M. & Callieri D. A. (1997). Influence of calcium on fungal growth, hyphal morphology and citric acid production in *Aspergillus niger*. *Folia microbiologica*, 42(6), 551-556. <https://doi.org/10.1007/BF02815463>
- Quintero J. (2011). Degradación de plaguicidas mediante hongos de la pudrición blanca de la madera. *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, 64(1), 5867-5882. <http://www.scielo.org.co/pdf/rfnam/v64n1/a12v64n01.pdf>
- Rawte, H., & Diwan, R. (2011). Growth response of *Pleurotus spp.* on different basal media and different pH levels. *Journal of Ecobiotechnology*, 3(4), 10-12. <https://updatepublishing.com/journal/index.php/jebt/article/view/136/135>
- Rodríguez E, Pickard M. & Vazquez-Duhalt R. (1999). Industrial dye decolorization by laccases from ligninolytic fungi. *Current Microbiology*, 38, 27-31. <https://doi.org/10.1007/PL00006767>
- Rojas J. & Hormaza A. (2015). Evaluación de la biodegradación del colorante azul brillante utilizando hongos de la podredumbre blanca y sus consorcios. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 19(1), 179-187. <http://www.scielo.org.co/pdf/rudca/v19n1/v19n1a21.pdf>
- Singh K. & Arora S. (2011). Removal of synthetic textile dyes from wastewaters: a critical review on present treatment technologies. *Critical reviews in environmental science and technology*, 41(9), 807-878. <https://doi.org/10.1080/10643380903218376>
- Thiribhuvanamala, G., Kalaiselvi, G., Parthasarathy, S., & Anusha, B. (2017). Induction of lignolytic enzyme activities in different agro residues by the white rot fungi, *Pleurotus sajar-caju*. *International Journal of Chemical Studies*, 5(2), 89-94. <https://www.chemjournal.com/archives/2017/vol5issue2/PartB/5-1-34-980.pdf>
- Toh Y.C., Yen J.J.L., Jia L., Obbard J.P. & Ting Y.P. (2003). Decolorization of azo dyes by white-rot fungi (WRF) isolated in Singapore. *Enzyme and Microbial Technology*, 33, 69-575. [https://doi.org/10.1016/S0141-0229\(03\)00177-7](https://doi.org/10.1016/S0141-0229(03)00177-7)
- Wali A., Gupta M., Gupta S., Sharma V., Salgotra R. K. & Sharma, M. (2020). Lignin degradation and nutrient cycling by white rot fungi under the influence of pesticides. *3 Biotech*, 10(6), 266-266. <https://doi.org/10.1007/s13205-020-02251-z>
- Yonni F., Fasoli H. & Álvarez H. (2008). Estudio de la biodegradabilidad y ecotoxicidad sobre colorantes textiles. *Higiene y Sanidad Ambiental*, 8, 331-334. [https://saludpublica.ugr.es/sites/dpto/spublica/public/inline-files/bc51018b8e7e129_Hig.Sanid_Ambient.8.331-334\(2008\).pdf](https://saludpublica.ugr.es/sites/dpto/spublica/public/inline-files/bc51018b8e7e129_Hig.Sanid_Ambient.8.331-334(2008).pdf)
- Zhuo R., Ma L., Fan F., Gong Y., Wan X., Jiang M., Zhang X. & Yang Y. (2011). Decolorization of different dyes by a newly isolated white-rot fungi strain *Ganoderma sp.* En3 and cloning and functional analysis of its laccase gene. *Journal of hazardous materials*. 192(2):855-873. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2011.05.106>

Contribución de autores

Autor	Contribución
Mario Peñafiel-García	Concepción y diseño, redacción del artículo, metodología, revisión, búsqueda bibliográfica, búsqueda de información.
Cristhopher Romero-Zambrano	Concepción y diseño, redacción del artículo, metodología, revisión, búsqueda bibliográfica, búsqueda de información.
Carlos Moreira-Mendoza	Revisión.
Ernesto Rosero-Delgado	Concepción y diseño, metodología, revisión, validación.

Citación sugerida: Peñafiel, M., Romero, C., Moreira, C., Rosero, E. (2021). EFECTO DEL pH Y SALES INORGÁNICAS EN LA DEGRADACIÓN DE COLORANTES INDUSTRIALES POR *Pleurotus djamor*. Revista Bases de la Ciencia, 6(2), 13-26. DOI: https://doi.org/10.33936/rev_bas_de_la_ciencia.v%vi%i.2670 Recuperado de: <https://revistas.utm.edu.ec/index.php/Basedelaciencia/article/view/2670>

INFLUENCIA DE LA MADUREZ DE LAS MAZORCAS DE CACAO: CALIDAD NUTRICIONAL Y SENSORIAL DEL CULTIVAR CCN-51

Cristhel Mora-Encalada^{1*}, José Quevedo-Guerrero², Jonathan Zhiminaicela-Cabrera¹,
Sayda Herrera-Reyes², Anthony Morocho-Castillo¹, Joffre León Toro¹

¹Semillero de Investigación de Recursos Fitogenéticos. Carrera de agronomía. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Técnica de Machala. E-mail: cmora9@utmachala.edu.ec, jzhiminai1@utmachala.edu.ec, amorcho4@utmachala.edu.ec, jleon9@utmachala.edu.ec

²Grupo de Investigación en Producción de Alimentos y Sanidad Animal. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Técnica de Machala. E-mail: jquevedo@utmachala.edu.ec, sherrera@utmachala.edu.ec

*Autor para la correspondencia: cmora9@utmachala.edu.ec

Recibido: 01-10-2020 / Aceptado: 30-04-2021 / Publicación: 30-04-2021

Editor Académico: Diego Piccardo

RESUMEN

El chocolate producto derivado del procesamiento de semillas de cacao (*Theobroma cacao* L.) es considerado como un alimento de lujo en el mercado internacional, apetecido especialmente por el sabor, aroma y los beneficios para la salud del consumidor, siendo el contenido nutricional y la calidad sensorial los principales indicadores de competitividad. El desarrollo fisiológico de las mazorcas influye en los procesos físico-químicos de la etapa postcosecha de donde se forma el aroma y sabor. Por esta razón, el objetivo de la investigación fue determinar la influencia de seis estados de madurez de mazorcas de *T. cacao* L. cultivar CCN-51, en la fermentación, calidad nutricional y sensorial del licor de cacao, evaluadas en dos tiempos postcosecha: fermentadas-secas y torrefacción. Se realizaron pruebas físico-químicas, análisis químico proximal y análisis sensorial del licor de cacao. Los datos se analizaron con el software SPSS con una prueba de ANOVA de una vía y la prueba de Tukey al 0,05%. Los resultados presentaron diferencias significativas ($p < 0.05$) en el índice de fermentación del estado 5 (98%) con respecto al 0 (18%), estos resultados se relacionaron con la calidad nutricional y sensorial. La madurez de las mazorcas influyó en el contenido nutrimental en las etapas postcosecha estudiadas, así las mazorcas inmaduras redujeron el índice de fermentación de las semillas afectando la calidad sensorial del licor de cacao.

Palabras clave: Manejo postcosecha, fermentación, torrefacción, madurez fisiológica, propiedades fisicoquímicas.

INFLUENCE OF COCOA POD MATURITY: NUTRITIONAL AND SENSORY QUALITY OF CULTIVAR CCN-51

ABSTRACT

Chocolate, a product derived from the processing of cacao beans (*Theobroma cacao* L.), is considered a luxury food on the international market, especially sought after for its taste, aroma, and health benefits for the consumer. The nutritional content and sensory quality are the main indicators of competitiveness. The physiological development of the cobs influences the physic-chemical processes of the post-harvest stage where aroma and flavour are formed. For this reason,

the objective of the research was to determine the influence of six stages of maturity of the cocoa pods of *T. cacao* L. cultivar CCN-51 on the fermentation, nutritional and sensory quality of cocoa liquor. Evaluated in two post-harvest stages: fermented-dried and roasting. Physical-chemical tests, proximal chemical analysis, and sensory analysis of the cocoa liquor were carried out. Data were analysed using SPSS software with a one-way ANOVA test and Tukey's test at 0.05%. The results showed significant differences ($p < 0.05$) in the fermentation index of stage 5 (98%) with respect to stage 0 (18%), these results were related to nutritional and sensory quality. The maturity of the pods influenced the nutritional content in the post-harvest stages studied, so the immature pods reduced the fermentation rate of the beans, affecting the sensory quality of the cocoa liquor.

Keywords: Post-harvest handling, fermentation, roasting, physiological maturity, physicochemical properties.

INFLUÊNCIA DA MATURIDADE DAS VAGENS DE CACAU: QUALIDADE NUTRICIONAL E SENSORIAL DA CULTIVAR CCN-51

RESUMO

O chocolate, um produto derivado do processamento de grãos de cacau (*Theobroma cacao* L.), é considerado um alimento de luxo no mercado internacional, especialmente por seu sabor, aroma e benefícios para a saúde do consumidor. O conteúdo nutricional e a qualidade sensorial são os principais indicadores de competitividade. O desenvolvimento fisiológico dos frutos influencia os processos físico-químicos da fase de pós-colheita, em que o aroma e o sabor são formados. Por esta razão, o objetivo da pesquisa foi determinar a influência de seis estágios de maturação das vagens de cacau do cultivar *T. cacao* L. CCN-51 na fermentação, qualidade nutricional e sensorial do licor de cacau, avaliado em duas etapas de pós-colheita: secagem fermentada e torrefação. Foram realizados testes físico-químicos, análise química proximal e análise sensorial do licor de cacau. Os dados foram analisados usando o software SPSS com um teste de ANOVA unilateral e o teste de Tukey com 0,05%. Os resultados mostraram diferenças significativas ($p < 0,05$) no índice de fermentação do estágio 5 (98%) com relação ao estágio 0 (18%), sendo que estes resultados foram relacionados à qualidade nutricional e sensorial. A maturidade das vagens influenciou o conteúdo nutricional nas etapas de pós-colheita estudadas, de modo que as vagens imaturas reduziram a taxa de fermentação dos grãos, afetando a qualidade sensorial do licor de cacau.

Palavras chave: Manuseio pós-colheita, fermentação, torrefação, maturidade fisiológica, propriedades físico-químicas.

1. INTRODUCCIÓN

El cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) es un cultivo que comprende un rubro importante en la economía de varios países como: Costa de Marfil, Camerún, Ghana, Brasil, Colombia, República Dominicana, Ecuador, México, Indonesia, Malasia y Papua Nueva Guinea (Quintero & Díaz Morales, 2004; Chaustre & Castillo, 2018). Su domesticación fue hace 5,300 años en la provincia de Zamora Chinchipe de la República del Ecuador (Zarrillo et al., 2018). Importante para Ecuador pues representa el segundo rubro económico agrícola del país, manteniéndose en el mercado debido a la calidad organoléptica, una de las características más importantes requeridas en el mercado (Quevedo Guerrero et al., 2018; Abad et al., 2020).

Ecuador es el principal exportador de cacao nacional fino y de aroma “Sabor Arriba” a nivel mundial por las características sensoriales que presentan. Los cuales pueden variar de acuerdo a los genotipos (Fuentes., 2021; Quevedo et al., 2020), estos genotipos influyen en los procesos de fermentación (Rojas., et al 2021; Ordoñez., 2021). En Ecuador existen genotipos cultivados de los grupos: Trinitarios, Forasteros, Criollos y el genotipo Nacional, este último apetecido por su sabor y aroma (Chang & Torres, 2014).

El híbrido clonal CCN-51 es el más sembrado por su alta productividad, aceptable resistencia a plagas, calidad organoléptica, y alta precocidad, ocupa un 72% del área total cultivada del país, clon ampliamente distribuido en las regiones Costa y Oriente del Ecuador (ANECACAO, 2015; Boza et al., 2014). Aunque no es el único pues en la zona sur de Ecuador y otras zonas del país existe una variedad muy extensa de diversos fenotipos (Jadán et al., 2016; Quevedo Guerrero et al., 2020), los cuales pueden tener iguales características agronómicas.

La calidad nutricional y sensorial se ve condicionada a diversos factores, especialmente a los procesos físicos-químicos que surgen directamente en las semillas del cacao en la etapa cosecha postcosecha: fermentado-secado y torrefacción (Portillo et al., 2009; Teneda Llerena, 2016; Jiménez et al., 2018). En este sentido, es importante considerar el método de fermentación pues aquí surgen cambios dentro de la composición fisicoquímica de las semillas, específicamente la oxidación de polifenoles que son beneficiosos para la salud. Siendo necesario estudiar la variabilidad de cambios que surgen en dependencia del fenotipo, como de la interacción con el método de fermentación (Bustamante et al., 2013).

El análisis químico proximal en el cacao u otros alimentos permite conocer parámetros nutricionales en porcentajes tales como: humedad, cenizas (sales minerales y minerales), grasas (colesterol, triglicéridos, ácidos grasos, vitaminas liposolubles), fibras (celulosa, hemicelulosas) y el contenido de proteínas en general (Andrade Almeida et al., 2019). Existe una interacción de varios factores

bióticos y abióticos que intervienen en los cambios surgidos en la fermentación, tales como las condiciones climáticas, ubicación geográfica, actividad microbiológica, temperatura, método de fermentación, humedad y fenotipos (Zambrano et al., 2010; Quevedo Guerrero et al., 2018).

La fermentación es la etapa donde se desarrolla el aroma, sabor y la calidad nutricional del chocolate (Perea-Villamil et al., 2009). Los nutrimentos en las semillas son factores indispensables para la producción de etanol, compuesto que permitirá la oxidación de taninos y polifenoles, compuestos ligados en el proceso de fermentación al desarrollo del sabor (Quevedo Guerrero et al., 2018; Camu et al., 2008). Surge por los múltiples procesos y transformaciones químicas que tienen relación directa con las condiciones expuesta en todo el proceso productivo de la fruta y medio ambientales. Los procesos bioquímicos empiezan en glucólisis transformada a ácido pirúvico, luego la fermentación alcohólica y acética, donde participan las levaduras que descompondrá el mucílago, permitiendo el desarrollo del etanol y la oxidación, componente fundamental en la formación de ácido acético (Teneda Llerena, 2016; Camu et al., 2008).

Existe un problema en al cosechar las mazorcas debido a que su venta se realiza en acopios que generalmente están en zonas urbanas, dificultado su transporte especialmente por condiciones topográficas, movilización y económicas (Chávez Cruz et al., 2018) forzando a los productores para reducir los costos cosechando mazorcas que no han cumplido su estado óptimo de madurez. Por esta razón, el objetivo de esta investigación es determinar la influencia que producen seis estados de madurez de mazorcas de cacao en la calidad nutricional, sensorial y en el índice de fermentación de las semillas.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Área de estudio

Para valorar todos los procesos postcosecha, se tomaron 25 mazorcas para los procesos de fermentación y secado de cada estado de madurez fisiológica del Jardín clonal de cacaos de la Granja experimental Santa Inés de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Técnica de Machala ubicada en el km 5 ½ vía Machala-Pasaje, perteneciente a la parroquia El Cambio, provincia de El Oro-Ecuador. Las muestras fueron procesadas en los laboratorios de Bioquímica, Química Inorgánica y Micropropagación vegetal de la FCA/UTMACH.

2.2. Material vegetal

Se usaron semillas de cacao obtenidos de mazorcas en diferentes estados de madurez del clon CCN-51 usando 25 mazorcas de las cuales se usaron 100 semillas para los análisis físicos y químicos del

jardín clonal de cacao de la Granja experimental Santa Inés de la Universidad Técnica de Machala (Montaleza Armijos et al., 2020).

2.3. Procesamiento postcosecha

Para la fermentación se utilizó un rotor de madera propuesto por (Córdova Bohórquez et al., 2019), el cual permite obtener mayor calidad sensorial de acuerdo a los resultados presentados utilizando un rotor de madera automatizado según (Quezada-Ramón et al., 201). El material de los diferentes estados de madurez se encuentra separadas con mallas previamente etiquetadas, este proceso tuvo una duración de cinco días y las muestras fueron removidas a las 24, 48, 72, 96 ,120 horas una vez iniciado el proceso, el tiempo de remoción por malla fue de un minuto.

Luego del proceso de fermentación se removieron las muestras a una marquesina, separadas en secciones por un lapso de siete días para perder la mayor cantidad de humedad, se removió cada muestra pasando un día hasta cumplir el tiempo requerido desde el momento del traspaso. La torrefacción se realizó a 1 Kg de la muestra, por diez minutos de torrefacción para cada muestra expuestas a 112° Celsius en un horno tostador.

2.4. Preparación de la muestra

Se trituraron las semillas para facilitar la homogenización de las muestras, por medio de un molido eléctrico, luego se procedió a tamizar las muestras a 0.5 μ m. Se evaluaron por medio de técnicas cualitativas: prueba de corte para el índice de fermentación y análisis sensoriales basados en escalas hedónicas estandarizadas, y cuantitativas para el análisis químico proximal. Para evitar inferencias en los resultados los estados de madurez se analizaron bajo los mismos criterios hasta llegar al chocolate amargo (Chang & Torres, 2014).

2.5. Estados de madurez

Fueron clasificados en seis estados de madurez clasificadas desde el momento que completan la madurez fisiológica hasta la madurez organoléptica de las mazorcas, los cuales se representaron en estados de acuerdo al color externo de la corteza (**Figura 1**). la apariencia del mucilago y las semillas del cacao, con sus respectivas características (**Tabla 1**).



Figura 1. Clasificación de los estados de madurez de las mazorcas iniciando con la madurez fisiológica a la izquierda hasta la madurez organoléptica.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 1. Características de semillas en los seis estados de madurez desde la madurez fisiológica hasta la madurez organoléptica de las semillas.

Estados de madurez	Características	Semillas
Estado 1	Las mazorcas tienen dos tonalidades, presencia de caballetes color violeta oscuro y surcos con tonalidades verdes, el mucilago es de una textura algodonosa muy sólida, y presenta semillas no desarrolladas en su totalidad	
Estado 2	Tiene tonalidades similares al estado 0, a excepción comienza a tener una tonalidad amarilla en los surcos, el mucilago sigue sólido, pero ya empieza a tomar una textura jugosa	
Estado 3	Tonalidad violeta menos intensa, presencia de tonalidades amarillas alrededor de la mazorca. El mucilago menos denso y "transparente"	
Estado 4	Surcos con tonalidades amarillas y violeta el mucilago es más jugoso, menor densidad.	
Estado 5	La mazorca, está pronta a cumplir el desarrollo fisiológicamente por completo el mucilago cumplió su desarrollo es poco denso.	
Estado 6	La mazorca, por completo se ha desarrollado fisiológicamente, el mucilago cumplió su desarrollo es transparente.	

Fuente: Elaboración propia.

2.6. Análisis sensoriales

Estos fueron realizados por un panel de catadores siguiendo las normativas internacionales. La determinación de los perfiles de sabores básicos amargor, acidez, astringencia, verde/crudo y sabores específicos cacao, floral, frutal, nuez, caramelo (Chang & Torres, 2014).

2.7. Análisis químico proximal

El análisis químico proximal se realizó de acuerdo Andrade Almeida et al., (2019) siguiendo las normas de Official methods of analysis of AOAC International. El contenido Fito nutritivo se utilizaron los siguientes protocolos de la AOAC (Horwitz & Latimer, 2005). Con la siguiente codificación:

Determinación de Proteínas (981.10) equipo Dkl 8 digestor automático Kjeldahl y el equipo UDK 149 destilador Kjeldahl automático, Modelo 149, Grasas (942.05) equipo Velp, extractor semi-automático por solventes, Modelo 148, Fibra (978.10) equipo AnKom2001 Fiber Analyzer, Modelo A2001, Cenizas (970.20) en mufla HYSC modelo MF05 y Carbohidratos por diferencia.

Determinación de proteínas por medio del Método KJELDAHL con factor de proteínas ($N \times 6,25$), el cual esta normalizado por diversas certificaciones y normativas internacionales como: AOAC, USEPA, ISO, DIN, farmacopeas y distintas directivas comunitarias (García Martínez & Fernández Segovia, 2012). Grasas por medio del Método SOXHLET para la extracción de grasas se cuantifico por medio de extractor de Soxhlet, pues es un método que permite obtener resultados precisos del contenido de grasas (Luque de Castro & Priego-Capote, 2010). Cenizas totales se determinó el contenido de cenizas para los grados de fermentación por medio del método termo gravimétrico, para interpretar el contenido mineral de las muestras, para el análisis se agrega 3 gramos de la muestra en mufla por 4 horas a 450° C.

2.8. Índice de fermentación

Se determinó por medio de la prueba de corte en semillas secas y fermentadas, utilizando la prueba de corte, haciendo un corte longitudinal a 100 semillas por cada estado de madurez tomadas al azar, para realizar fueron expuesta a iluminación y clasificadas de acuerdo a cada una de las características que presentaron color, grietas, testa y cotiledón y el porcentaje de fermentación (Barragán et al., 2016).

2.9. Diseño experimental

El diseño experimental que se utilizó fue un diseño completamente al azar (DCA), trabajado en un entorno experimental homogéneo, con seis tratamientos (estados de madurez) las unidades experimentales con tres repeticiones en el estudio fueron las semillas de cacao en dos momentos postcosecha el fermentadas-secas y torrefacción. Los datos se analizaron con el software SPSS con una prueba de ANOVA de una vía y la prueba de Tukey al 95%. Para todos los análisis en los estados de madurez, se realizó tres repeticiones por triplicado en cada análisis. Los análisis físico-químicos, proximal y sensorial se los realizó con una metodología y procesamiento a ciegas, donde un colaborador externo se encargó de notificar cual, era el etiquetado y los resultados de cada estado de madurez al final de los análisis.

2.10. Estadística aplicada

Para determinar si existen diferencias significativas entre los tratamientos en estudio se efectuó ANOVA de una vía, previo cumplimiento de los supuestos de normalidad de los datos y homogeneidad de varianzas. La comparación de promedios se realizó mediante la prueba de Tukey al 0,05 % de probabilidad, para diferenciar inter-grupos de medias después que se ha rechazado la hipótesis nula en el análisis de varianza. El procesamiento estadístico se realizó con el Paquete estadístico SPSS versión 23 para Windows.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Resultados

El análisis del ANOVA de una vía realizado en SPSS mostro diferencias significativas en el índice de fermentación entre-grupos con un p-valor (< 0.05) (**Tabla 2**).

Tabla 2. ANOVA de un factor entre grupos obtenido en SPSS para el índice de fermentación en las semillas de cacao contenido porcentual

Estado	Violeta	Pizarra	Mohoso	Infestada	Buena	Media	p valor
Estado 0	Media 32 ± 1	17.67 ± 0.58	9.33 ± 1.16	1.67 ± 0.58	17.33 ± 1.16	18.33 ± 1.1	0.000
Estado 1	Media 11 ± 1	23.67 ± 0.58	7.33 ± 0	0 ± 0	32.33 ± 1.15	22.33 ± 0.58	0.000
Estado 2	Media 16 ± 1	3.67 ± 0.58	0 ± 0	0 ± 0	44.33 ± 1.02	33.67 ± 0.50	0.000
Estado 3	Media 3 ± 0	3.67 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	75.33 ± 0.58	15.67 ± 0.25	0.000
Estado 4	Media 0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	90.33 ± 0.50	3.67 ± 1.1	0.000
Estado 5	Media 0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	98 ± 1.00	1.66 ± 1.2	0.000

Fuente: Elaboración propia.

La prueba Tukey determino que existen diferencias significativas entre los tratamientos de acuerdo al ANOVA de una vía realizado, previo el cumplimiento de los supuestos de normalidad de los datos y homogeneidad de varianzas. Debido a que el p-valor obtenido era menor al propuesto se acepta H1 mencionando que existe diferencias significativas rechazado H0 donde no se encuentra diferencia entre los estados de madurez del índice de fermentación.

Tabla 3. Medías obtenidas con la prueba de Tukey ($\alpha= 0,05$) ponderada para los de índice de fermentación contenido porcentual.

Característica	Estado 0	Estado 1	Estado 2	Estado 3	Estado 4	Estado 5
Fermentación buena	18 %	33 %	45 %	76 %	96 %	98 %

Fermentación media	19 %	23 %	34 %	16 %	4 %	2 %
Violeta	33 %	12 %	17 %	4 %		
Pizarra	18%	24 %	4 %	4 %		
Mohoso	10 %	8%				
Infestado	2 %					

Fuente: Elaboración propia.

La tabla 3. Describe los promedios obtenidos de las tres repeticiones de cada estado de madurez obtenidos en la prueba de Tukey aplicada para cada característica del grano presentando diferencias significativas con la prueba de Tukey ($\alpha= 0,05$). Realizado el análisis estadístico en SPSS con el ANOVA (**Tabla 2**) y la prueba de con la prueba de Tukey ($\alpha= 0,05$) se evidencia las diferencias que presentan las medias (**Tabla 3**), especialmente para los estados de madurez 4 y 5, con respecto al estado 0 y 1.

El análisis del contenido nutricional obtenido mediante el análisis químico proximal da como resultado los siguientes valores presentado en la (**Tabla 4**).

Tabla 4. Análisis químico proximal de las semillas de cacao cultivar CCN-51, valores obtenidos en contenido porcentual.

Momento	Estados	Humedad	Proteínas	Grasas	Cenizas	Fibras	Carbohidratos
Fermentado y secado	Estado 0	7.22 ± 1	16.47 ± 3	48.89 ± 4	2.94 ± 0.2	4.07 ± 0.1	20.4 ± 2
	Estado 1	9.60 ± 2	15.04 ± 3	45.14 ± 3	2.87 ± 0.3	3.97 ± 0.2	23.4 ± 2
	Estado 2	6.55 ± 2	17.32 ± 3	40.97 ± 3	3.17 ± 0.2	3.87 ± 0.1	28.1 ± 2
	Estado 3	8.43 ± 2	10.91 ± 3	38.57 ± 3	3.20 ± 0.2	4.15 ± 0.2	34.7 ± 3
	Estado 4	8.14 ± 1	17.95 ± 2	43.26 ± 3	2.67 ± 0.3	4.21 ± 0.1	23.8 ± 2
	Estado 5	7.96 ± 1	19.77 ± 1	45.56 ± 3	3.24 ± 0.2	4.43 ± 0.1	19.0 ± 2
Torrefacción	Estado 0	3.80 ± 1	16.06 ± 1	44.31 ± 2	2.91 ± 0.2	4.02 ± 0.2	28.9 ± 2
	Estado 1	5.33 ± 1	13.88 ± 2	40.00 ± 2	2.87 ± 0.2	3.95 ± 0.1	34.0 ± 2
	Estado 2	3.04 ± 1	16.19 ± 2	38.68 ± 1	2.97 ± 0.2	3.45 ± 0.1	35.7 ± 2
	Estado 3	4.68 ± 3	10.75 ± 2	34.04 ± 2	3.16 ± 0.3	3.58 ± 0.2	43.8 ± 2
	Estado 4	4.52 ± 2	17.52 ± 2	38.22 ± 1	2.62 ± 0.4	4.09 ± 0.2	33.0 ± 2
	Estado 5	4.42 ± 2	18.93 ± 2	48.59 ± 2	3.00 ± 0.4	4.28 ± 0.1	20.8 ± 2

Fuente: Elaboración propia.

La escala hedónica obtenida presenta los resultados de sabores específico cacao, floral, frutal, nuez, caramelo, amargor y sabores básicos acidez, astringencia, verde y moho, en los diferentes estados de madurez.

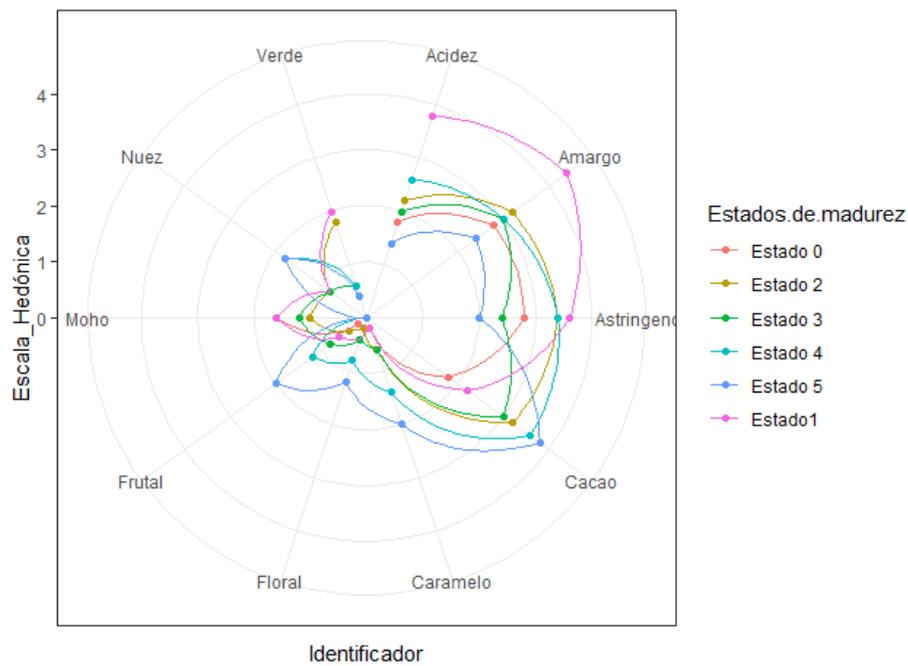


Figura 4 Escala hedónica 1-10 de los diferentes sabores y aromas de cacao obtenidos en los estados de madurez.
Fuente: Elaboración propia.

3.2. Discusión

El índice de fermentación permite conocer cuan eficiente fue el proceso de fermentación de las semillas de cacao a mayor índice de fermentación mayor será el desarrollo de sabores y aromas agradables (Chang & Torres, 2014), para evaluar estos índices se realizaron pruebas de corte para determinar el índice de fermentación. Los resultados obtenidos en el ANOVA (**Tabla 2**) indican las diferencias en las características de las semillas en los diferentes estados de madurez resultado que corroboran los resultados previos realizados en cacao de tipo nacional (Quezada-Ramón et al., 2017).

De acuerdo al análisis químico proximal realizado en los seis estados de madurez de las mazorcas de cacao el contenido porcentual (%) de contenido nutricional de las semillas de cacao, los cuales son descritos en cinco análisis químicos: Carbohidratos, Cenizas, Fibras, Grasas, Humedad y Proteínas. Estos valores reflejan mayor contenido de proteínas y fibras en los estados 4 y 5 de madurez en las mazorcas que en otros estudios (Chang & Torres, 2014) los cuales pueden ser influenciados por diversos factores bióticos o abióticas. Pero a nivel general se puede observar ventajas nutricionales especialmente en los estados 4 y 5 de madurez (**Tabla 4**).

La escala hedónica de cacao, permite conocer los atributos sensoriales de los fenotipos que se vayan analizar, en este caso su aplicación se dio para conocer la influencia en el estado de madurez. En la (**Figura 4**), se observa en la gráfica los evaluados en los cuales se destaca el estado 4 y 5 con valores superiores a los presentados por (Chang & Torres, 2014), especialmente en el sabor floral, frutal y

nuez aromas que se desarrollan por la presencia de compuestos volátiles 3-metil-1-butanol, 2-fenil etanol, benzaldehído, fenil acetaldehído, etilhexanoato, etil benzoato, etilfenil acetato y 2-fenil etil acetato; a su vez menor contenido de compuestos como o 3-metil butanoico y 3-metil-1-butanol, precursores de sabores no agradables (Pallares-Pallares et al., 2016). Por lo tanto, las mazorcas al estar mejor desarrolladas los compuestos químicos se encuentran mejor formados, dando características más agradables. A su vez el desarrollo de compuestos fenólicos y de alcaloides precursores de procesos de biosíntesis en el cacao (Vázquez-Ovando et al., 2016).

Ello se debe ver influenciados también, por el método de fermentación de las mazorcas o la posición geográfica donde se cultivaron las mazorcas de cacao. Además, unos de los estados de madurez que es el de mayor cosecha entre productores el estado 3 de madurez, presento valores muy por debajo de bajo de los valores considerados como atractivos para el paladar. Las características organolépticas y propiedades físico químicas del cacao varían de acuerdo a los fenotipos que se utilicen (Chang & Torres, 2014) en los estados de madurez del cultivar CCN-51 se presentan mayores características en el estado 4 y 5 respectivamente.

4. CONCLUSIONES

La cosecha de las mazorcas de *Theobroma cacao* L. en diferentes estados de madurez va a influir en la calidad final del chocolate, especialmente se reduciría su calidad sensorial, algo que afectaría la producción a mediano o largo plazo. Los estados de madurez de las mazorcas influyen ligeramente en el contenido nutricional de acuerdo al análisis proximal realizado, en las semillas. Existe mayor incidencia cuando se inducen calor en la torrefacción especialmente sobre la humedad y las grasas. Las cuales probablemente se pierden especialmente en la cascarilla de las semillas de cacao.

El mayor índice de fermentación se presentó en los estados de madurez 4 y 5, presentando diferencias significativas en la prueba de Tukey resultados obtenidos estudios previos indican que se puede ver influenciado por el estado de madurez, método de fermentación y fenotipos utilizados en el estudio.

Realizar una correcta recolección de las mazorcas en la etapa de cosecha ayudar a mejorar calidad en las semillas, permitiendo tener mejor calidad en los chocolates, permitiendo ser más competitivos a nivel internacional con la fruta. Se recomienda en estudios posteriores indagar como influye la sobre maduración de la fruta en parámetros evaluados en diferentes fenotipos, pues solo se analiza hasta el estado de madurez óptimo en CCN-51.

5. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Universidad Técnica de Machala por la facilidad la autorización para el manejo de equipos y experimentación en sus instalaciones, a su vez al Semillero de Investigación en Recursos Fitogenéticos SIRF/UTMACH y Grupo de Investigación en Producción de Plantas AGROPLANT/UTMACH, por financiar parcialmente la investigación por medio de sus reactivos.

6. REFERENCIAS

- Abad, A., Acuña, C., & Naranjo, E. (2020). El cacao en la Costa ecuatoriana: estudio de su dimensión cultural y económica. *Estudios de la Gestión: revista internacional de administración*, (7), 59-83.
- Andrade Almeida, J., Rivera García, J., Chire Fajardo, G. C., & Ureña Peralta, M. O. (2019). Propiedades físicas y químicas de cultivares de cacao *Theobroma cacao* L. de Ecuador y Perú. *Enfoque UTE*, 10(4), 1-12.
- ANECACAO. (2015). *Características del Cacao CCN51 Ecuador*. Asociación Nacional de Exportadores de Cacao e Industrializados Del Ecuador. <http://www.anecacao.com/index.php/es/quienes-somos/cacaoccn51.html>
- Boza, E. J., Motamayor, J. C., Amores, F. M., Cedeño-Amador, S., Tondo, C. L., Livingstone, D. S., Schnell, R. J., & Gutiérrez, O. A. (2014). Genetic Characterization of the Cacao Cultivar CCN 51: Its Impact and Significance on Global Cacao Improvement and Production. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 139(2), 219-229. <https://doi.org/10.21273/JASHS.139.2.219>
- Bustamante, M. S., Tenorio, M. A., & Rojano, C. D. (2013). Efecto de la fermentación sobre la actividad antioxidante de diferentes clones de cacao colombiano. *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, 18(3), 391-494.
- Camu, N., De Winter, T., Addo, S. K., Takrama, J. S., Bernaert, H., & De Vuyst, L. (2008). Fermentation of cocoa beans: influence of microbial activities and polyphenol concentrations on the flavour of chocolate. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 88(13), 2288-2297. <https://doi.org/10.1002/jsfa.3349>
- Chang, J. V., & Torres, C. V. (2014). Atributos físicos-químicos y sensoriales de las almendras de quince clones de cacao nacional (*Theobroma cacao* L.) en el Ecuador. *Revista Ciencia y Tecnología*, 7(2), 21-34.
- Chávez Cruz, G., Olaya Cum, R. L., & Maza Iñiguez, J. V. (2018). Costo de producción de Cacao clonal ccn-51 en la parroquia Bellamaria, Ecuador. *Universidad y Sociedad*, 10(2), 186-196.
- Córdova Bohórquez, R. P., Quevedo Guerrero, J. N., García Batista, R. M., & Herrera Reyes, S. (2019). Automatización de un sistema de fermentación de almendra de cacao (*Theobroma cacao* L.) para pequeños productores. *Revista Agroecosistemas*, 7(2), 149-156.
- Fuentes, L. F. Q., & Jerez, A. G. (2021). Evaluación integral de la calidad sensorial del cacao. Libros Universidad Nacional Abierta ya Distancia, 1-139.
- García Martínez, E., & Fernández Segovia, I. (2012). *Determinación de proteínas de un alimento por el método Kjeldahl Valoración con un ácido fuerte* (U. de Valencia (ed.); Primera Ed).
- Horwitz, W., & Latimer, G. W. (2005). *Official methods of analysis of AOAC International* (18 Edición). Association of Officiating Analytical Chemists AOAC International.
- Jadán, O., Torres, B., Selesi, D., Peña, D., Rosales, C., & Günter, S. (2016). Diversidad florística y estructura en cacaotales tradicionales y bosque natural (Sumaco, Ecuador). *Colombia forestal*, 19(2), 5-18.
- Jiménez, J. C., Tuz Guncay, G., & Quevedo Guerrero, J. N García Batista, R. M. (2018). Presecado: Su efecto sobre la calidad sensorial del licor de cacao (*Theobroma cacao* L.). *Revista Científica Agroecosistemas*, 6(2), 63-73.
- Luque de Castro, M. D., & Priego-Capote, F. (2010). Soxhlet extraction: Past and present panacea. *Journal of Chromatography A*, 1217(16), 2383-2389. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2009.11.027>
- Montaleza Armijos, J., Quevedo Guerrero, J., & García Batista, R. (2020). Análisis de la diversidad morfológica de cacao (*theobroma cacao*. l) del jardín clonal de la Universidad Técnica de Machala. *Revista Científica Agroecosistemas*, 8(2), 45-57.
- Ordoñez, E. S., Quispe, Y., & García, L. F. (2020). Cuantificación de fenoles, antocianinas y caracterización sensorial de nibs y licor de cinco variedades de cacao, en dos sistemas de fermentación. *Scientia Agropecuaria*, 11(4), 473-481.
- Pallares-Pallares, A., Perea-Villamil, J. A., & López-Giraldo, L. J. (2016). Impacto de las condiciones de beneficio sobre los compuestos precursores de aroma en granos de cacao (*Theobroma cacao* L) del clon CCN-51. *Respuestas*, 21(1), 120-133.
- Perea-Villamil, J. A., Cadena-Cala, T., & Herrera-Ardila, J. (2009). El cacao y sus productos como fuente de antioxidantes: Efecto del procesamiento. *Revista de La Universidad Industrial de Santander. Salud*, 41(2), 128-134.
- Rojas, K. R., Aguirre, C. H., & Guevara, A. M. (2021). Transformaciones bioquímicas del cacao (*Theobroma cacao* L.) durante un proceso de fermentación controlada. *Agronomía costarricense: Revista de ciencias agrícolas*, 45(1), 53-65.

- Quevedo Guerreño, J. N., Jácome Vásquez, J. E., Tuz Guncay, I. G., García Batista, R. M., & Luna Romero, Á. E. (2020). Análisis de diversidad fenotípica de 37 accesiones de cacao nacional (*Theobroma cacao* L.) En la zona sur del Ecuador. *Quevedo Guerreño, J. N., Jácome Vásquez, J. E., Tuz Guncay, I. G., García Batista, R. M., & Luna Romero, Á. E.*, 12(3), 102–108.
- Quevedo Guerrero, J., López, R., & Tuz Guncay, I. (2018). Calidad física química y sensorial de granos y licor de cacao (*Theobroma Cacao*.) Usando cinco métodos de fermentación. *Revista Científica Agroecosistemas*, 6(1), 115–127.
- Quevedo Guerrero, J. N., Ramírez Villalobos, M., Zhiminaicela Cabrera, J., Noles León, M. J., Quezada Hidalgo, C., & Aguilar Flores, S. (2020). Diversidad morfoagronómica: caracterización de 650 árboles de *Theobroma cacao* L. *Revista Universidad y Sociedad*, 12(6), 14-21.
- Quezada-Ramón, L., Quevedo-Guerrero, J., & García-Batista, R. (2017). Determinación del efecto del grado de madurez de las mazorcas en la producción y la calidad sensorial de (*Theobroma cacao* L.). *Revista Científica Agroecosistemas*, 5(1), 36–46.
- Teneda Llerena, W. F. (2016). *Mejoramiento del Proceso de Fermentación del Cacao. (Theobroma cacao L.) Variedad Nacional y Variedad CCN51*. Universidad Internacional de Andalucía.
- Vázquez-Ovando, A., Ovando-Medina, I., Adriano-Anaya, L., & Betancur-Ancona, D Salvador-Figueroa, M. (2016). Alcaloides y polifenoles del cacao, mecanismos que regulan su biosíntesis y sus implicaciones en el sabor y aroma. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 66(3).
- Zarrillo, S., Gaikwad, N., Lanaud, C., Powis, T., Viot, C., Lesur, I., Solorzano, R. L., Lesur, I., Fouet, O., Argout, X., Guichoux, E., & Salin, F. (2018). The use and domestication of *Theobroma cacao* during the mid-Holocene in the upper Amazon. *Nature Ecology & Evolution*, 2(12), 1879–1888.

Contribución de autores

Autor	Contribución
Cristhel Mora-Encalada	Concepción y diseño, redacción del artículo, metodología, revisión, búsqueda bibliográfica, búsqueda de información.
José Quevedo-Guerrero	Concepción y diseño, redacción del artículo, metodología, revisión, búsqueda bibliográfica.
Jonathan Zhiminaicela-Cabrera	Redacción del artículo, metodología, revisión, validación, búsqueda bibliográfica, búsqueda de información.
Sayda Herrera-Reyes	Redacción del artículo, metodología, revisión, validación, búsqueda bibliográfica, búsqueda de información.
Anthony Morocho-Castillo	Redacción del artículo, búsqueda bibliográfica, búsqueda de información.
Joffre León Toro	Redacción del artículo, búsqueda bibliográfica, búsqueda de información.

Citación sugerida: Mora, C., Quevedo, J., Zhiminaicela, J., Herrera, S., Morocho, A., León, J. (2021). Influencia de la madurez de las mazorcas de cacao: calidad nutricional y sensorial del cultivar CCN-51. *Revista Bases de la Ciencia*, 6(2),

27-40. DOI: https://doi.org/10.33936/rev_bas_de_la_ciencia.v%vi%i.2706 Recuperado de:
<https://revistas.utm.edu.ec/index.php/Basedelaciencia/article/view/2706>

EL SILVESTROL COMO AGENTE ANTIVIRAL DE AMPLIO ESPECTRO

Marco Fuel Herrera^{1*} , Sandra Cangui Panchi²

¹Centro de Investigación Biomédica (CIBM), Universidad de Granada, 18100 Granada, España. E-mail: marcofh@correo.ugr.es

²Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Central del Ecuador, 170129, Quito, Ecuador. E-mail: spcangui@uce.edu.ec

*Autor para la correspondencia: marcofh@correo.ugr.es

Recibido: 22-10-2020 / Aceptado: 07-08-2021 / Publicación: 30-08-2021

Editor Académico: Julio Torres

RESUMEN

Las enfermedades virales constituyen una de las principales causas de morbilidad y mortalidad a nivel mundial debido a que algunos virus presentan altas tasas de mutación, desarrollan estrategias para evadir el sistema inmune del hospedador y generan mecanismos de resistencia a varios agentes antivirales. A esta problemática se suman los brotes repentinos de virus emergentes, muchos de los cuales carecen de tratamientos eficaces o vacunas. Por lo tanto, se requiere de nuevos agentes antivirales de origen natural como el silvestrol para ofrecer nuevas alternativas de tratamiento. El objetivo de esta revisión fue realizar un análisis crítico de las investigaciones que contenían información sobre la aplicación del silvestrol como agente antiviral frente a varios virus patógenos, para esto se llevó a cabo la búsqueda de publicaciones científicas en cuatro bases de datos (Scopus, Medline, Web of Science y Cochrane Library), empleando descriptores como: "silvestrol", "antiviral agent" y "virus" ajustando la ecuación de búsqueda a cada una de las bases. De los 70 artículos recuperados, tras aplicar los criterios de exclusión e inclusión se seleccionaron 8 artículos en los que se reporta un efecto antiviral del silvestrol al actuar sobre la helicasa ARN eIF4A del huésped e inhibir la traducción viral.

Palabras clave: agente antiviral, silvestrol, virus.

SILVESTROL AS A BROAD-SPECTRUM ANTIVIRAL AGENT

ABSTRACT

Viral diseases are a major cause of morbidity and mortality worldwide because some viruses have high mutation rates, develop strategies to evade the host immune system, and generate mechanisms of resistance to various antiviral agents. In addition to this problem, there are sudden outbreaks of emerging viruses, many of which lack effective treatments or vaccines. Therefore, new antiviral agents of natural origin such as silvestrol are required to offer new treatment alternatives. The objective of this review was to make a critical analysis of the studies that contained information on the application of silvestrol as an antiviral agent against several pathogenic viruses. For this purpose, scientific publications were searched in four databases (Scopus, Medline, Web of Science and Cochrane Library), using descriptors such as: "silvestrol", "antiviral agent" and "virus" adjusting the search equation to each one of the bases. From the 70 articles retrieved, after applying the exclusion and inclusion criteria, 8 articles were selected in which an antiviral effect of silvestrol is reported by acting on the host RNA eIF4A helicase and inhibiting viral translation.

Keywords: antiviral agents, silvestrol, virus.



SILVESTROL COMO UM AGENTE ANTIVIRAL DE LARGO ESPECTRO

RESUMO

As doenças virais são uma das principais causas de morbidade e mortalidade em todo o mundo porque alguns vírus têm altas taxas de mutação, desenvolvem estratégias para escapar ao sistema imunológico hospedeiro e geram mecanismos de resistência a vários agentes antivirais. Este problema é agravado por surtos súbitos de vírus emergentes, muitos dos quais carecem de tratamentos ou vacinas eficazes. Portanto, novos agentes antivirais de origem natural como o silvestrol são necessários para oferecer novas alternativas de tratamento. O objetivo desta revisão foi analisar criticamente as pesquisas que contivessem informação sobre a aplicação do silvestrol como agente antiviral contra vários vírus patogênicos. Para tanto, as publicações científicas foram pesquisadas em quatro bases de dados (Scopus, Medline, Web of Science e Cochrane Library), utilizando descritores como: "silvesterol", "agente antiviral" e "vírus", adaptando a equação de pesquisa a cada uma das bases. Dos 70 artigos recuperados, após aplicação dos critérios de exclusão e inclusão, foram selecionados 8 artigos nos quais é relatado um efeito antiviral do silvestrol atuando sobre a helicase eIF4A RNA do hospedeiro e inibindo a tradução viral.

Palavras chave: antivirais, silvestrol, agentes antivirais, vírus.

1. INTRODUCCIÓN

Las enfermedades virales representan una de las principales causas de morbilidad y mortalidad en los seres humanos a nivel mundial, especialmente en los países en vías de desarrollo. La problemática radica en que este grupo de enfermedades causa un impacto en la salud pública, principalmente de tipo económico ya que los virus más comunes, como el de la influenza y el herpes presentan una elevada prevalencia, además de su fácil transmisión (Holmes et al., 2017). Este gasto se eleva para los virus que causan enfermedades graves, infecciones diseminadas o inmunodeficiencias adquiridas como es el caso del virus de la hepatitis y el VIH (Getts et al., 2013).

Si bien, gracias a los programas de vacunación se ha logrado prevenir o erradicar numerosas infecciones virales que cobraban miles de vidas a nivel global, en la actualidad se precisa de nuevas armas terapéuticas para combatir los brotes producidos por virus emergentes y reemergentes causantes de pandemias como los coronavirus, ebolavirus, virus del Nilo, el Marburg virus (Plotkin, 2014) los cuales presentan una alta capacidad para adaptarse a su huésped actual, cambiar a uno nuevo, desarrollar mecanismos para escapar de la inhibición antiviral y en algunos casos producir nuevas cepas virales con resistencia adquirida frente a los antivirales disponibles (Saiz et al., 2013).

Aunque en la actualidad se logran avances en virología y biología molecular que permitan una mejor comprensión de sus ciclos virales, así como el desarrollo de metodologías para la detección de estos patógenos, desafortunadamente las investigaciones sobre su tratamiento no han ido a la par (Denys, 2011), por lo que se necesita con urgencia la investigación de nuevos agentes antivirales, siendo los extractos vegetales y sus metabolitos una fuente importante y de fácil disponibilidad. Además, algunos compuestos son catalogados como agentes antivirales de amplio espectro (BSA), los cuales inhiben simultáneamente diferentes infecciones virales debido a que algunos de ellos presentan vías comunes de replicación o emplean la misma maquinaria del hospedador para ejercer su ciclo viral. Por tal motivo, su descubrimiento y desarrollo permitirá superar los problemas de tiempo y costo (Adalja & Inglesby, 2019). Además, son de utilidad en aquellas zonas en donde se suscitan brotes de varios virus al mismo tiempo.

Uno de los compuestos que presenta actividad antiviral es el silvestrol, un fitoquímico que se compone estructuralmente de un grupo ciclopenta[β]benzofurano y una cadena de dioxano que se aísla de los árboles *Aglaia silvestris* y *Aglaia foveolata* y pertenece al grupo de las flavaglines (Pan et al., 2014). Este compuesto se caracteriza por su potente actividad antitumoral reportada en varias líneas celulares tumorales y en modelos preclínicos el cual actúa inhibiendo la traducción dependiente de eIF4A de protooncogenes clave de vida corta como *c-MYC* y *PIMI*, cuyo ARNm 5'-UTR se extiende e incluye regiones de estructuras secundarias de ARN estable que requieren desenrollarse

por eIF4A para crear una plataforma de unión para el complejo de preiniciación 43S (Alachkar et al., 2013; Cencic et al., 2009; Kogure et al., 2013). Adicionalmente, este compuesto carece de citotoxicidad celular y actúa inhibiendo la helicasa ARN eIF4A del huésped, la cual es necesaria para la traducción de proteínas virales claves de su ciclo por lo que se considera de interés en la investigación médica (Mani et al., 2020). Por lo tanto, el objetivo de esta revisión fue abordar el papel antiviral que presenta el silvestrol en estudios *in vitro* e *in vivo*.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Diseño de estudio

El objetivo de esta revisión fue evaluar la información disponible sobre el papel antiviral que presenta el silvestrol en estudios *in vitro* e *in vivo*. Para ello, se llevó a cabo un análisis bibliométrico de las publicaciones científicas sin incluir un período de tiempo con la finalidad de analizar toda la producción científica respecto a esta temática.

2.2. Fuente de obtención de los datos

La revisión de la literatura científica se realizó en cuatro bases de datos: Medline (mediante el buscador Pubmed), Web of Science, Scopus y Cochrane Library Plus, mediante el uso de los descriptores: “antivirales”, “silvestrol”, “virus”. La ecuación final fue: (("silvestrol"[Supplementary Concept] OR "silvestrol"[Title/Abstract]) AND (((("antiviral agents"[Pharmacological Action] OR "antiviral agents"[MeSH]) OR ("antiviral"[Title/Abstract] AND "agents"[Title/Abstract])) OR "antiviral agents"[Title/Abstract]) OR ("antiviral"[Title/Abstract] AND "agent"[Title/Abstract])) OR "antiviral agent"[Title/Abstract])) OR (("silvestrol"[Supplementary Concept] OR "silvestrol"[Title/Abstract]) AND (((("virology"[MeSH] OR "virology"[Title/Abstract]) OR "viruses"[Title/Abstract]) OR "viruses"[MeSH]) OR "virus s"[Title/Abstract]) OR "viruse"[Title/Abstract]) OR "virus"[Title/Abstract])). Se utilizó la misma estrategia para todas las bases de datos con las adaptaciones pertinentes. A continuación, se completó la lista de estudios mediante la búsqueda en las bibliografías de las publicaciones seleccionadas. Se incluyeron todos los artículos hasta septiembre del 2020. Los autores revisaron independientemente los resultados e identificaron los artículos más pertinentes para su selección y posterior análisis de texto completo. En este punto, los capítulos de libro, estudios epidemiológicos, comunicaciones de congresos fueron excluidos. No hubo restricción de idiomas.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Resultados

Tras aplicar la ecuación de búsqueda en las diferentes bases de datos se obtuvieron un total de 70 artículos: 20 Medline (vía Pubmed), 27 en Web of Science, 23 en Scopus y 0 en Cochrane Library. Posteriormente, luego de eliminar los artículos repetidos y aplicar los criterios de inclusión y exclusión se seleccionaron 8 artículos para su revisión y análisis crítico.

Los datos extraídos de estudios *in vitro* se agrupan en la **Tabla 1** donde se incluye en cada columna la cepa viral, las líneas celulares, el método de ensayo, la concentración inhibitoria aplicada a ensayos bioquímicos o enzimáticos (IC₅₀) o la concentración efectiva aplicada a ensayos basados en células (EC₅₀), el índice selectivo (SI) y el mecanismo de acción. La **Tabla 2** incluye el único estudio *in vivo* donde se detalla el modelo animal, la dosis, la cepa empleada, la vía de administración, los ensayos, los resultados. La **Tabla 3** incluye la información de las patentes existentes hasta la actualidad. Finalmente, en la **Figura 1** se detalla el mecanismo de acción del silvestrol frente a los distintos virus.

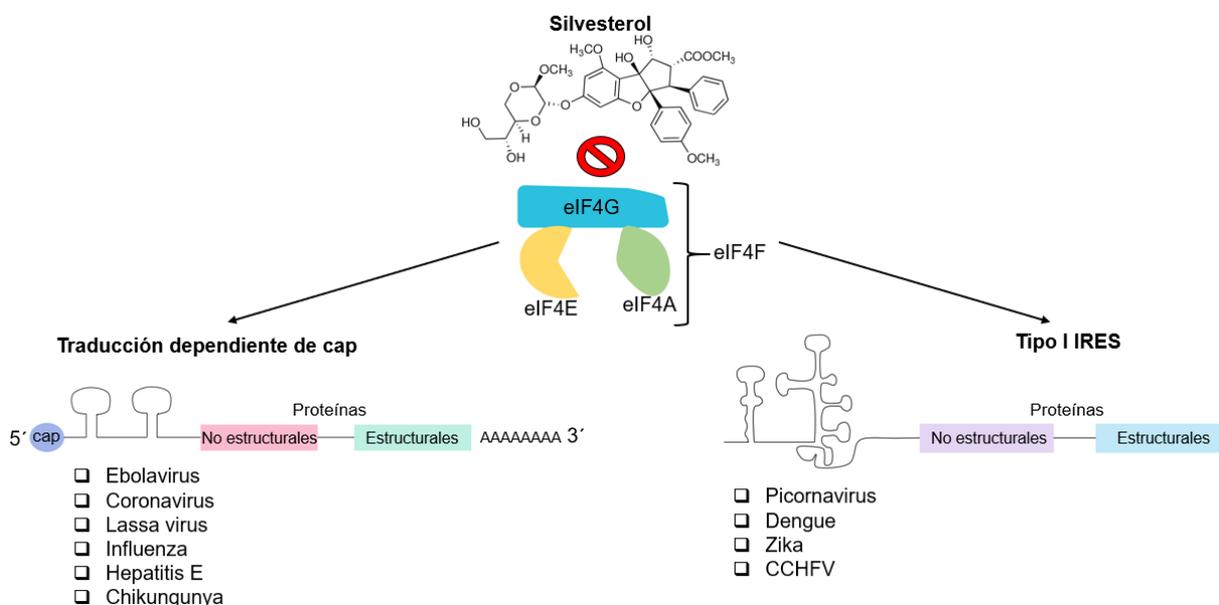


Figura 1. Actividad antiviral del silvestrol. El silvestrol actúa inhibiendo la enzima helicasa ARN eIF4, encargada de desenrollar las estructuras secundarias del ARNm en la región 5'-UTR durante el proceso de traducción dependiente de 5'CAP, así como en la traducción mediada por un sitio interno de entrada al ribosoma (IRES). CCHFV: Virus de la fiebre hemorrágica de Crimea-Congo.

Fuente: Elaboración propia.

3.2. Discusión

El silvestrol se caracteriza por ser un inhibidor selectivo de la ARN helicasa eIF4A DEAD-box que es la encargada de desenrollar estructuras secundarias en el 5'-UTR de mRNAs y de formar el complejo de iniciación de la traducción (Chu et al., 2016). Esta actividad es aprovechada como agente antiviral frente a diferentes virus:

Coronavirus

Estos son virus de ARN monocatenario de sentido positivo que forman parte de la familia Coronaviridae y causan enfermedades como el Síndrome Respiratorio Agudo Severo (SARS), Síndrome Respiratorio de Medio Oriente (MERS) y SARS-2 que tienen tasas de mortalidad del 15, 37 y 3%, respectivamente (Abdelghany et al., 2021). Su cuadro clínico afecta al tracto respiratorio e incluye sintomatología leve similar a la influenza caracterizada por la presencia de tos, fiebre y disnea, pero que puede evolucionar a grave generando neumonía atípica; además, estos agentes son causantes de pandemias que ocasionan un gran impacto sanitario y económico a nivel mundial (Brian & Baric, 2005). En relación a la actividad antiviral del silvestrol, las investigaciones de Müller et al., (2018) y Müller et al., (2020) describieron una disminución en la infección por los coronavirus MERS-CoV y HCoV-229E en células de fibroblasto pulmonar embrionario humano infectadas (MRC-5), Huh-7 y en células mononucleares de sangre periférica (PBMC), debido a que este compuesto interfiere con la formación de complejos de replicación-transcripción, lo que se evidencia con la disminución de la expresión de sus proteínas estructurales y no estructurales (N, nsp8).

Ebolavirus

El virus del Ébola pertenece a la familia Filoviridae y hasta la actualidad se lograron identificar cinco especies que afectan al ser humano. Estructuralmente, están formados por una cadena de ARN monocatenario de sentido negativo. La transmisión al ser humano se debe al contacto directo con los fluidos corporales infectados o con superficies y objetos contaminados. Los brotes que afectan principalmente a la población africana se caracterizan por la evolución de la enfermedad del virus del Ébola (EVE) o también llamada fiebre hemorrágica. Los síntomas inician con fiebre, dolor muscular, de cabeza y garganta, debilidad, vómito, diarrea, erupciones cutáneas y hemorragia interna y externa con una tasa de mortalidad equivalente al 50% (Jadav et al., 2015). En relación a la acción del silvestrol frente a este virus, Biedenkopf et al., (2017) describen un efecto inhibitorio sobre el título de virus en células tumorales Huh-7 y macrófagos humanos primarios infectados con una reducción de 3 y 2 órdenes de magnitud respectivamente a una concentración 10 nM, además de observar una reducción de la síntesis de su proteína EBOV VP40

Picornavirus

Los picornavirus son virus pequeños monocatenarios de ARN positivo causantes de infecciones que en algunos son asintomáticos, pero en otros pueden llegar a ser fatales ya que algunos virus de esta familia son agentes causantes de epidemias como el poliovirus, enterovirus, echovirus, rinovirus, virus de la hepatitis A. Los picornavirus tienen una distribución mundial y su modo de transmisión es vía fecal-oral o respiratoria. Las moscas y las cucarachas pueden ser vectores (Cifuentes &

Moratorio, 2019). De igual forma, Müller et al., (2018) describen el papel antiviral del silvestrol contra el rinovirus humano (HRV) A1 y el poliovirus tipo I (PV) con valores de CE_{50} de 20 y 100 nM, respectivamente. Estos virus emplean un mecanismo de iniciación de la traducción mediado por un sitio interno de entrada al ribosoma (IRES) y presentan ARN estructurados en el 5-UTR lo que constituye una diana para la helicasa eIF4A.

Virus de la hepatitis E

Forma parte de la familia Hepeviridae y son virus con ARN monocatenario de sentido positivo, se identifican cuatro genotipos patógenos de los cuales el 1 y 2 se restringen a humanos., el 3 y 4 infectan a humanos y animales, y se registran alrededor de 20 millones de infecciones anuales en todo el mundo. Su mecanismo de transmisión es fecal-oral y la infección es autolimitada en personas sanas con una tasa de letalidad del 1%, pero en pacientes inmunosuprimidos se convierte en una infección crónica causante de cirrosis con una letalidad aproximada del 30% (Ju & Ding, 2019). Aunque hasta el momento no existe una terapia específica para el HEV, Glitscher et al., (2018) publicaron el efecto del silvestrol en el ciclo de vida del HEV genotipo 3 cepa 47832c en células A549, encontrando una inhibición en la liberación de partículas virales, reducción en la expresión de la proteína de la cápside y proteína de la bóveda principal (MVP), retención del ARN viral en el citoplasma y ausencia de efectos citotóxicos en las células. El mismo resultado fue obtenido por Todt et al., (2018) al infectar células de hepatocarcinoma con cuatro genotipos de HEV en donde se observó una disminución de la replicación de los replicones subgenómicos, disminución en la producción de partículas virales y un efecto sinérgico con la ribavirina. Además, en un modelo *in vivo* infectado por HEV se evidenció disminución de los niveles ARN viral en las heces de los ratones humanizados tratados con silvestrol

Zika

El virus de Zika es un virus de ARN monocatenario de sentido positivo perteneciente a la familia Flaviridae transmitido por mosquitos del género *Aedes* y otras formas no vectoriales como las congénitas, perinatales, sexuales, transfusiones sanguíneas, entre otras. Este virus tiene una alta tasa de mutación, lo que le confiere la capacidad de desarrollar cepas resistentes a los medicamentos que se dirigen a las proteínas estructurales. Es causante de varios brotes a nivel mundial, su cuadro clínico es variable e incluye síntomas leves hasta manifestaciones graves como el síndrome de Guillain-Barré en adultos y la microcefalia en recién nacidos. La tasa de letalidad es del 8,5% (Da Cunha et al., 2016). Por tal motivo, la OMS considera a la infección por Zika como una “emergencia de salud pública de interés internacional” lo que conlleva a la necesidad de instaurar terapias antivirales específicas y eficaces toleradas para las enfermedades infecciosas y emergentes (Plourde & Bloch, 2016). En este sentido, Elgner et al., (2018) emplearon el silvestrol contra dos cepas del virus del

Zika (ZIKV 976 Uganda y ZIKV PF13/251013-18 de la Polinesia Francesa) en células A549 y cultivos de hepatocitos humanos primarios encontrando una disminución de la infección por este virus, así como una disminución de la proteína no estructural NS1 para las concentraciones de 5 y 50 nM, sin la evidencia de efectos citotóxicos. Por otro lado, Müller et al., (2020) usaron la cepa 976 Uganda e infectaron las células A549 donde se determinó una EC₅₀ de 1,08 nM.

Chikungunya

El virus Chikungunya (CHIKV) es ARN monocatenario de sentido positivo perteneciente al género alphavirus de la familia Togaviridae, transmitido por mosquitos del género *Aedes*. Es el agente causante de la fiebre Chikungunya, la cual presenta dos etapas de enfermedades una aguda caracterizada por fiebre alta, poliartralgia, dolor de cabeza, espalda y fatiga y una tardía con artropatía persistente. CHIKV se identificó en 60 países en todo el mundo (Wahid et al., 2017). La tasa de letalidad para este virus es del 11,9% (Mavalankar et al., 2008). Actualmente, no se dispone de tratamiento ni vacuna contra la infección por este virus, por tal motivo Henss, Scholz, Grünweller, & Schnierle, (2018) reportaron el efecto antiviral del silvestrol en las células HEK 293T y NIH3T3 infectadas por CHIKV con valores de IC₅₀ de 1,89 y 5,06 nM, respectivamente. Además, mediante los experimentos de tiempo de adición del fármaco encontraron que el silvestrol retrasa la replicación, así como la síntesis de proteínas no estructurales (nsP) y estructurales. De igual forma, este virus emplea su proteína nsP2 en la expresión de genes celulares e inhibe la fosforilación de STAT1 lo que les resulta en células resistentes al tratamiento con interferón, por lo que además los autores encontraron que el tratamiento con silvestrol permite la fosforilación de STAT1 inducida por interferón- α .

Lassa Virus

El virus de Lassa (LASV) es un virus ARN monocatenario de sentido negativo perteneciente a la familia de los Arenavirus (género *Mammarenavirus*) endémico de África Occidental, causante de la fiebre hemorrágica. Las infecciones se producen por contacto con roedores *Mastomys* infectados con LASV, pero también es posible la transmisión persona a persona y la adquirida en hospitales. Es un patógeno de categoría A, por lo que representa un riesgo para la salud pública por su fácil diseminación, y transmisión (Günther & Lenz, 2004). La tasa de letalidad es del 26,5%, los contagios por este virus aumentan en la estación seca y disminuyen en la estación húmeda (Yaro et al., 2021). En el estudio realizado por Müller et al., (2020) se emplearon la cepa LASV Ba366 para infectar hepatocitos murinos primarios y conocer los efectos que se producen, y efectivamente se demostró que el silvestrol es un potente antiviral con un valor de EC₅₀ de 50,73 nM sin mostrar efectos citotóxicos.

Virus de la influenza A

También llamados Alphainfluenzavirus son virus pertenecientes a la familia Orthomyxoviridae con ARN viral monocatenario de sentido negativo, capaces de causar grandes epidemias de influenza. Se clasifican por la presencia de dos proteínas de la superficie viral: hemaglutinina (HA) y neuraminidasa (NA). Los virus H1N1 y H3N2 son causantes de la influenza estacional en los seres humanos y siguen en circulación hasta la actualidad a través de su transmisión de persona a persona, con el paso del tiempo han experimentado cambios genéticos y antigénicos para sobrevivir y propagarse fácilmente en la población (Hutchinson, 2018). Las epidemias anuales de influenza ocurren durante el otoño y el invierno haciendo que las personas de todas las edades sean susceptibles a la gripe. La incidencia de la influenza es difícil de cuantificar debido a que los infectados no buscan atención médica, por lo que no son diagnosticados, aunque se estimó una incidencia del 8% a través de datos estadísticos de hospitalizaciones en los Estados Unidos (Tokars et al., 2018). Slaine et al., (2017) demostraron que el silvestrol tiene una potente actividad antiviral frente a dos cepas del virus de la influenza A: virus A/Puerto Rico/8/34/(H1N1)(PR8) y el virus A/Udorn/1972 (H3N2)(Udorn) a través de la formación de agregados citoplasmáticos o gránulos de estrés que detiene la síntesis de proteínas virales e inhibe la replicación del genoma viral

Virus de la fiebre hemorrágica de Crimea-Congo (CCHFV)

El virus causante de la fiebre hemorrágica del Crimea-Congo (CCHF) es un virus de ARN monocatenario de sentido negativo que pertenece a la familia Nairoviridae, provoca una fiebre hemorrágica caracterizada por el incremento de temperatura corporal, sangrado en la piel, dolor de cabeza y muscular, diarrea, vómito y complicaciones como la insuficiencia hepática, se transmite al ser humano a través de las picaduras de garrapatas del género *Hyalomma* y los huéspedes más comunes son el ganado y algunos animales salvajes como las liebres. Alrededor de 15 mil infecciones se reportan cada año en África, Medio Oriente, India, Asia y al sur y este de Europa (Hawman & Feldmann, 2018). Los brotes de CCHF tienen una tasa de letalidad del 10 al 40% (Nasirian, 2020). Müller et al., (2020) reportaron la reducción del título viral en hepatocitos murinos infectados por la cepa Afg-09 2990 del CCHFV obteniendo una EC_{50} de 28,53 nM.

Patentes

En los últimos años se desarrollaron patentes respecto a la actividad antiviral del silvestrol. En la patente E93305289-A1 se destaca la actividad antiviral de este compuesto frente a varios virus de ARN monocatenario y con traducción de proteína dependiente de la caperuza 5'. Mientras que en la patente EP3305290-A1 reivindica el uso del silvestrol para la prevención y tratamiento de infecciones causadas por los virus del Ébola, el virus del Marburg, el coronavirus, el virus del Zika, el virus del dengue, Chikungunya y los pertenecientes a la familia Togaviridae en seres humanos y/o mamíferos.

4. CONCLUSIONES

La revisión de los estudios *in vitro*, *in vivo* y patentes en relación al silvestrol como agente antiviral indican el enorme potencial como un BSA al actuar sobre varios virus con o sin estructuras secundarias de ARN en sus extremos 5-UTR, traducción dependientes e independientes de caperuza y que emplean la helicasa RNA eIF4A del huésped, el cual podría ser usado solo o en combinación con otros agentes antivirales para la prevención y/o tratamientos de las enfermedades causadas por estos patógenos. A pesar de que no se ha demostrado citotoxicidad en las células, es importante resaltar que se precisa de más estudios sobre su farmacocinética y farmacodinámica para su aplicación en la práctica clínica.

5. REFERENCIAS

- Abdelghany, T. M., Ganash, M., Bakri, M. M., Qanash, H., Al-Rajhi, A. M. H., & Elhussieny, N. I. (2021). SARS-CoV-2, the other face to SARS-CoV and MERS-CoV: Future predictions. *Biomedical Journal*, 44(1), 86–93. <https://doi.org/10.1016/j.bj.2020.10.008>
- Adalja, A., & Inglesby, T. (2019). Broad-Spectrum Antiviral Agents: A Crucial Pandemic Tool. *Expert Review of Anti-Infective Therapy*, 17(7), 467–470. <https://doi.org/10.1080/14787210.2019.1635009>
- Alachkar, H., Santhanam, R., Harb, J. G., Lucas, D. M., Oaks, J. J., Hickey, C. J., Pan, L., Kinghorn, A. D., Caligiuri, M. A., Perrotti, D., Byrd, J. C., Garzon, R., Grever, M. R., & Marcucci, G. (2013). Silvestrol exhibits significant *in vivo* and *in vitro* antileukemic activities and inhibits FLT3 and miR-155 expressions in acute myeloid leukemia. *Journal of Hematology and Oncology*, 6(1). <https://doi.org/10.1186/1756-8722-6-21>
- Biedenkopf, N., Lange-Grünweller, K., Schulte, F. W., Weißer, A., Müller, C., Becker, D., Becker, S., Hartmann, R. K., & Grünweller, A. (2017). The natural compound silvestrol is a potent inhibitor of Ebola virus replication. *Antiviral Research*, 137, 76–81. <https://doi.org/10.1016/j.antiviral.2016.11.011>
- Brian, D. A., & Baric, R. S. (2005). Coronavirus genome structure and replication. *Current Topics in Microbiology and Immunology*, 287, 1–30. https://doi.org/10.1007/3-540-26765-4_1
- Cencic, R., Carrier, M., Galicia-Vázquez, G., Bordeleau, M.-E., Sukarieh, R., Bourdeau, A., Brem, B., Teodoro, J. G., Greger, H., Tremblay, M. L., Porco, J. A., & Pelletier, J. (2009). Antitumor Activity and Mechanism of Action of the Cyclopenta[b]benzofuran, Silvestrol. *PLoS ONE*, 4(4), e5223. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0005223>
- Chu, J., Galicia-Vázquez, G., Cencic, R., Mills, J. R., Katigbak, A., Porco, J. A., & Pelletier, J. (2016). CRISPR-Mediated Drug-Target Validation Reveals Selective Pharmacological Inhibition of the RNA Helicase, eIF4A. *Cell Reports*, 15(11), 2340–2347. <https://doi.org/10.1016/j.celrep.2016.05.005>
- Cifuentes, J. O., & Moratorio, G. (2019). Evolutionary and Structural Overview of Human Picornavirus Capsid Antibody Evasion. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, 9. <https://doi.org/10.3389/fcimb.2019.00283>
- Da Cunha, A. J. L. A., De Magalhães-Barbosa, M. C., Lima-Setta, F., De Andrade Medronho, R., & Prata-Barbosa, A. (2016). Microcephaly case fatality rate associated with Zika virus infection in Brazil. *Pediatric Infectious Disease Journal*, 36(5), 528–530. <https://doi.org/10.1097/INF.0000000000001486>
- Denys, A. (2011). Antiviral drugs. *Polski Merkuriusz Lekarski*, 30(179), 359–361.
- Elgner, F., Sabino, C., Basic, M., Ploen, D., Grünweller, A., & Hildt, E. (2018). Inhibition of Zika virus replication by silvestrol. *Viruses*, 10(4). <https://doi.org/10.3390/v10040149>
- Getts, D. R., Chastain, E. M. L., Terry, R. L., & Miller, S. D. (2013). Virus infection, antiviral immunity, and autoimmunity. In *Immunological Reviews* (Vol. 255, Issue 1, pp. 197–209). John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1111/imr.12091>
- Glitscher, M., Himmelsbach, K., Woytinek, K., Johne, R., Reuter, A., Spiric, J., Schwaben, L., Grünweller, A., & Hildt, E. (2018a). Inhibition of hepatitis E virus spread by the natural compound silvestrol. *Viruses*, 10(6). <https://doi.org/10.3390/v10060301>
- Glitscher, M., Himmelsbach, K., Woytinek, K., Johne, R., Reuter, A., Spiric, J., Schwaben, L., Grünweller, A., & Hildt, E. (2018b). Inhibition of Hepatitis E Virus Spread by the Natural Compound Silvestrol. *Viruses*, 10(6), 301. <https://doi.org/10.3390/v10060301>
- Günther, S., & Lenz, O. (2004). Lassa virus. *Critical Reviews in Clinical Laboratory Sciences*, 41(4), 339–390. <https://doi.org/10.1080/10408360490497456>

- Gruenweller, A., Hartmann, R., Lange-Gruenweller, K., Schulte, F., Becker, S., Biedenkopf, Nadine., Ziebuhr, Joh., Müller, C., & Schlitzer, M., (2018). Verwendung von silvestrol, episilvestrol and silvestrolanaloga zur behandlung von virusinfektionen, die durch viren mit cap-abhängiger übersetzung hervorgerufen werden (EP3305290A1). Justus Liebig Universitaet Giessen Philipps Universitaet Marburg. <https://patents.google.com/patent/EP3305290A1/de>
- Gruenweller, A., Hartmann, R., Lange-Gruenweller, K., Schulte, F., Becker, S., Biedenkopf, Nadine., Ziebuhr, Joh., Müller, C., & Schlitzer, M., (2018). Usage of silvestrol, episilvestrol and silvestrol analoga for the treatment of viral infections caused by viruses with cap-dependent translation (EP3305289A1). Justus Liebig Universitaet Giessen Philipps Universitaet Marburg. <https://patents.google.com/patent/EP3305290A1/de>
- Hawman, D. W., & Feldmann, H. (2018). Recent advances in understanding crimean-congo hemorrhagic fever virus. *F1000Research*, 7. <https://doi.org/10.12688/F1000RESEARCH.16189.1>
- Henss, L., Scholz, T., Grünweller, A., & Schnierle, B. S. (2018). Silvestrol inhibits chikungunya virus replication. *Viruses*, 10(11). <https://doi.org/10.3390/v10110592>
- Holmes, K. K., Bertozzi, S., Bloom, B. R., Jha, P., Gelband, H., DeMaria, L. M., & Horton, S. (2017). Major Infectious Diseases: Key Messages from Disease Control Priorities, Third Edition. In *Disease Control Priorities, Third Edition (Volume 6): Major Infectious Diseases* (pp. 1–27). The World Bank. https://doi.org/10.1596/978-1-4648-0524-0_ch1
- Hutchinson, E. C. (2018). Influenza Virus. *Trends in Microbiology*, 26(9), 809–810. <https://doi.org/10.1016/j.tim.2018.05.013>
- Jadav, S., Kumar, A., Ahsan, M., & Jayaprakash, V. (2015). Ebola Virus: Current and Future Perspectives. *Infectious Disorders - Drug Targets*, 15(1), 20–31. <https://doi.org/10.2174/1871526515666150320162259>
- Ju, X., & Ding, Q. (2019). Hepatitis e virus assembly and release. *Viruses*, 11(6). <https://doi.org/10.3390/v11060539>
- Kogure, T., Kinghorn, A. D., Yan, I., Bolon, B., Lucas, D. M., Grever, M. R., & Patel, T. (2013). Therapeutic Potential of the Translation Inhibitor Silvestrol in Hepatocellular Cancer. *PLoS ONE*, 8(9). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0076136>
- Mani, J. S., Johnson, J. B., Steel, J. C., Broszczak, D. A., Neilsen, P. M., Walsh, K. B., & Naiker, M. (2020). Natural product-derived phytochemicals as potential agents against coronaviruses: A review. *Virus Research*, 284, 197989. <https://doi.org/10.1016/j.virusres.2020.197989>
- Mavalankar, D., Shastri, P., Bandyopadhyay, T., Parmar, J., & Ramani, K. V. (2008). Increased mortality rate associated with chikungunya epidemic, Ahmedabad, India. *Emerging Infectious Diseases*, 14(3), 412–415. <https://doi.org/10.3201/eid1403.070720>
- Müller, C., Obermann, W., Schulte, F. W., Lange-Grünweller, K., Oestereich, L., Elgner, F., Glitscher, M., Hildt, E., Singh, K., Wendel, H. G., Hartmann, R. K., Ziebuhr, J., & Grünweller, A. (2020). Comparison of broad-spectrum antiviral activities of the synthetic rocaglate CR-31-B (–) and the eIF4A-inhibitor Silvestrol. *Antiviral Research*, 175, 104706. <https://doi.org/10.1016/j.antiviral.2020.104706>
- Müller, C., Schulte, F. W., Lange-Grünweller, K., Obermann, W., Madhugiri, R., Pleschka, S., Ziebuhr, J., Hartmann, R. K., & Grünweller, A. (2018). Broad-spectrum antiviral activity of the eIF4A inhibitor silvestrol against corona- and picornaviruses. *Antiviral Research*, 150, 123–129. <https://doi.org/10.1016/j.antiviral.2017.12.010>
- Nasirian, H. (2020). New aspects about Crimean-Congo hemorrhagic fever (CCHF) cases and associated fatality trends: A global systematic review and meta-analysis. *Comparative Immunology, Microbiology and Infectious Diseases*, 69, 101429. <https://doi.org/10.1016/j.cimid.2020.101429>
- Pan, L., Woodard, J. L., Lucas, D. M., Fuchs, J. R., & Douglas Kinghorn, A. (2014). Rocaglamide, silvestrol and structurally related bioactive compounds from *Aglaia* species. *Natural Product Reports*, 31(7), 924–939. <https://doi.org/10.1039/c4np00006d>
- Plotkin, S. (2014). History of vaccination. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 111(34), 12283–12287. <https://doi.org/10.1073/pnas.1400472111>
- Plourde, A. R., & Bloch, E. M. (2016). A literature review of zika virus. *Emerging Infectious Diseases*, 22(7), 1185–1192. <https://doi.org/10.3201/eid2207.151990>
- Saiz, J. C., Sobrino, F., Sevilla, N., Martín, V., Perales, C., & Domingo, E. (2013). Molecular and Evolutionary Mechanisms of Viral Emergence. *Viral Infections and Global Change*, 297–325. <https://doi.org/10.1002/9781118297469.ch16>
- Slaine, P. D., Kleer, M., Smith, N. K., Khapersky, D. A., & McCormick, C. (2017). Stress granule-inducing eukaryotic translation initiation factor 4A inhibitors block influenza A virus replication. *Viruses*, 9(12). <https://doi.org/10.3390/v9120388>
- Todt, D., Moeller, N., Praditya, D., Kinast, V., Friesland, M., Engelmann, M., Verhoye, L., Sayed, I. M., Behrendt, P., Dao Thi, V. L., Meuleman, P., & Steinmann, E. (2018). The natural compound silvestrol inhibits hepatitis E virus (HEV) replication in vitro and in vivo. *Antiviral Research*, 157, 151–158. <https://doi.org/10.1016/j.antiviral.2018.07.010>
- Tokars, J. I., Olsen, S. J., & Reed, C. (2018). Seasonal Incidence of Symptomatic Influenza in the United States. *Clinical Infectious Diseases*, 66(10), 1511–1518. <https://doi.org/10.1093/cid/cix1060>
- Wahid, B., Ali, A., Rafique, S., & Idrees, M. (2017). Global expansion of chikungunya virus: mapping the 64-year history. *International Journal of Infectious Diseases*, 58, 69–76. <https://doi.org/10.1016/j.ijid.2017.03.006>

Yaro, C. A., Kogi, E., Opara, K. N., Batiha, G. E. S., Baty, R. S., Albrakati, A., Altalbawy, F. M. A., Etuh, I. U., & Oni, J. P. (2021). Infection pattern, case fatality rate and spread of Lassa virus in Nigeria. *BMC Infectious Diseases*, 21(1), 1–9. <https://doi.org/10.1186/s12879-021-05837-x>

Contribución de autores

Autor		Contribución
Marco Herrera	Fuel	Concepción y diseño, redacción del artículo, metodología, revisión, validación, búsqueda bibliográfica, búsqueda de información.
Sandra Panchi	Cangui	Concepción y diseño, redacción del artículo, metodología, revisión, validación, búsqueda bibliográfica, búsqueda de información.

Citación sugerida: Fuel, M., Cangui, S. (2021). El silvestrol como agente antiviral de amplio espectro *Revista Bases de la Ciencia*, 6(2), 41-56. DOI: https://doi.org/10.33936/rev_bas_de_la_ciencia.v%vi%i.2814 Recuperado de: <https://revistas.utm.edu.ec/index.php/Basedelaciencia/article/view/2814>

Tabla 1. Características de los 8 estudios *in vitro* sobre las propiedades antivirales del silvestrol frente a distintos virus

Cepa viral	Líneas celulares	Método de ensayo	IC ₅₀ o EC ₅₀ (nM - ng/mL)	SI (índice selectivo)	Mecanismo de acción	Referencia
MERS-CoV	MRC-5		1,3	> 7690		
HCoV-229E	MRC-5 PBMC Huh-7	Ensayo de luciferasa y actividad antiviral	27 2,8 40	> 3330 > 350 0,75	Inhibe la replicación y la traducción	(Müller et al., 2018)
HRV A1	MRC-5 HeLa		100 400	> 100 0,012		
PV 1	MRC-5 Vero		20 100	> 500 1,6		
EBOV	Huh-7 Macrófagos primarios	Ensayo WST-1 y Análisis TCID50	0,8 90,5	- -	Inhibe la traducción del EBOV al inhibir la helicasa eIF4A	(Biedenkopf et al., 2017)
HEVp6			2,87	-		
HEVp6 G1634R			3,29	-		
HEV 83-2	Huh 7.5	Ensayo de luciferasa	4,49	-	Bloquea la replicación de diferentes replicones subgenómicos	(Todt et al., 2018)
HEV Sar55 / S17			3,17	-		
ZIKV 976 Uganda (ZIKV U) ZIKV	A549	RT-qPCR, Western Blot, ensayo en placa y microscopía de inmunofluorescencia	5	-	Inhibe la replicación viral	(Elgner et al., 2018)
PF13 / 251013-18 (ZIKV FP) de la Polinesia Francesa	Vero		5	-		

47832c de HEV	A549	Análisis TCID50, ensayo de luciferasa y microscopía de inmunofluorescencia	2	-	Inhibe la liberación de partículas virales y reduce la traducción de la proteína de la cápside	(Glitscher et al., 2018a)
CHIKV-luci	HEK 293T	Ensayo de la luciferasa	1,89	-	Inhibe la replicación y la traducción de proteínas estructurales y no estructurales y la fosforilación de STAT 1 inducida por el interferón alfa	(Henss et al., 2018)
	NIH3T3		5,06	-		
Puerto Rico/8/34/(H1N1) virus (PR8)	A549	Ensayo en placa	40	-	Inhibe la traducción y desencadena la formación de agregados citoplasmáticos conocidos como gránulos de estrés	(Slaine et al., 2017)
A/Udorn/1972(H3N2) virus (Udorn)						
HCoV-229E	MRC-5		3	> 3300		
MERS-CoV	MRC-5		1,3	> 7690		
ZIKV	A549	Ensayo indicador de la luciferasa dual	1,08	8,8	Inhibe la replicación de los virus de manera dependiente e independiente de polipurina	(Müller et al., 2020)
LASV	Hepa1-6		50,73	> 99		
CCHFV	Hepa1-6		28,53	> 175		
<p>Coronavirus del Síndrome Respiratorio de Oriente Medio, MERS-CoV; Coronavirus Humano 229E, HCoV-229E; Rinovirus Humano A1, HRV A1; Poliovirus tipo 1, PV; Virus de la Hepatitis E, HEV; Virus Zika, ZIKV; Virus Chikungunya, CHIKV; Lassa virus, LASV; Virus de la fiebre hemorrágica de Crimea-Congo, CCHFV; Ensayo de dosis infecciosa de cultivo tisular al 50%, TCID 50.</p>						

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2. Características del único estudio *in vivo* sobre las propiedades antivirales del silvestrol frente al HEV

Sustancia	Animal	Dosis	Cepa viral	Inoculación	Ensayos	Resultados	Referencia
Silvestrol formulado en 30% de 2-hidroxipropil- β -ciclodextrina	Ratones humanizados SCID	0,3 mg / kg	HEV Sar-55	Vía intraesplénica	RT-qPCR	Reducción de la carga viral	(Todt et al., 2018)

Inmunodeficiencia combinada severa, SCID.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3. Patentes relacionadas con el silvestrol y sus propiedades antivirales

Número de la patente	Título	Año	Gestionario de patente	Inventor
EP3305290-A1	Use of medicament for treating virus infections caused by e.g. Ebola virus, Marburg virus, Coronavirus, Chikungunya virus, Zika virus, Dengue virus, and Togaviridae in humans and/or mammals comprises silvestrol and/or episilvestrol	2018	Univ Philipps Marburg; Univ Giessen Justus-Liebig	Gruenweller A; Hartmann R K; Lange-Gruenweller K; et ál.
EP3305289-A1	Medicament used for treating virus infections of humans and/or mammals comprises silvestrol, episilvestrol, and/or their respective derivatives or analogs	2018	Univ Philipps Marburg; Univ Giessen Justus-Liebig	Gruenweller A; Hartmann R K; Lange-Gruenweller K; et ál.

Fuente: Elaboración propia.

EL PAPEL DE LOS RESIDUOS AGRÍCOLAS EN LA EXTRACCIÓN DE NANOCRISTALES DE CELULOSA

Wendy Elizabeth Peralta Holguín* , Carlos Alcibar Medina Serrano 

Grupo de Investigación de materiales avanzados (GIMA). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Facultad de Ciencias. Riobamba. Ecuador.

*Autor para la correspondencia: wendy.peralta@esPOCH.edu.ec

Recibido: 08-02-2020 / Aceptado: 08-07-2021 / Publicación: 30-08-2021

Editor Académico: Diego Piccardo 

RESUMEN

El objetivo del presente estudio fue revisar fuentes documentales sobre el contenido lignocelulósico de los residuos agrícolas del cultivo de arroz, plátano, maíz, caña de azúcar, y piña para la obtención de nanocristales de celulosa. La investigación con enfoque cualitativo- documental descriptivo recopiló datos del objeto de estudio para su análisis y evaluación. Se analizaron diversos planteamientos teóricos, procedimentales y metodológicos para la obtención de nanocristales de celulosa; se identificó el tipo de residuo generado por cada cultivo en estudio, de los cuales se describió el contenido lignocelulósico que poseen con el propósito de establecer que por su composición se constituyen en un material potencial para la obtención de nanocelulosa; luego se analizaron los métodos empleados en la obtención de nanocristales de celulosa. Con base a los documentos revisados se concluye que los diferentes residuos agrícolas poseen un contenido celulósico relevante (28-100%), por tanto, convirtiéndolos en materiales aptos para ser aprovechados para obtener nanocristales de celulosa.

Palabras clave: Hidrólisis ácida, métodos de extracción, residuos lignocelulósicos.

THE ROLE OF AGRICULTURAL WASTE IN THE EXTRACTION OF CELLULOSE NANOCRYSTALS

ABSTRACT

The objective of this study was to review documentary sources on the lignocellulosic content of agricultural residues from the cultivation of rice, banana, corn, sugar cane, and pineapple to obtain cellulose nanocrystals. Research with a qualitative - documentary and descriptive approach, collected data from the object of study for analysis and evaluation. Various theoretical, procedural, and methodological approaches for obtaining cellulose nanocrystals were analyzed; the type of residue generated by each culture under study was identified, of which the lignocellulosic content that they possess was described. In order to establish that their composition constitutes a potential material for obtaining nanocellulose, the methods used in obtaining cellulose nanocrystals were then analyzed. Based on the revised documents, it is concluded that the different agricultural residues have a relevant cellulosic content (28-100%), therefore, converting them into materials suitable to be used to obtain cellulose nanocrystals.

Keywords: Acid hydrolysis, extraction methods, lignocellulosic residues.

O PAPEL DOS RESÍDUOS AGRÍCOLAS NA EXTRAÇÃO DE NANOCRISTAIS DE CELULOSE

RESUMO

O objetivo do presente estudo foi a revisão de fontes documentais sobre o conteúdo lignocelulósico dos resíduos agrícolas da cultura de arroz, banana, milho, cana-de-açúcar e abacaxi para a obtenção de nanocristais de celulose. A pesquisa com abordagem qualitativo - documental e descritiva coletou dados do objeto de estudo para sua análise e avaliação. Foram analisadas diversas abordagens teóricas, processuais e metodológicas para a obtenção de nanocristais de celulose; foi identificado o tipo de resíduo gerado por cada cultura em estudo, dos quais se descreveu o teor lignocelulósico que possuem, com o propósito de estabelecer que pela sua composição se constituem em um material potencial para a obtenção de nanocelulose; em seguida, analisaram-se os métodos utilizados na obtenção de nanocristais de celulose. Com base nos documentos revistos conclui-se que os diferentes resíduos agrícolas possuem um conteúdo celulósico relevante (28-100%), portanto, convertendo-os em materiais aptos a serem explorados para obter nanocristais de celulose.

Palavras chave: Hidrólise ácida, métodos de extração, resíduos lignocelulósicos.

1. INTRODUCCIÓN

Riera et al., 2018 afirman que, en el año 2018, Ecuador registró una producción de más de 23000 millones de kilogramos en cultivos agrícolas de: azúcar, banano, papa, cacao, naranja, palma aceitera, maíz duro seco. La producción de arroz, plátano y brócoli, representaron el 59,46% del total de la producción nacional. El sector agrícola es uno de los principales pilares de la economía ecuatoriana; pero esa a esta contribución financiera importante, se presenta un problema ambiental debido a que la agroindustria genera una acumulación de residuos gaseosos, líquidos, sólidos y orgánicos. (Riera, Maldonado, & Palma, 2018).

Este problema se puede mitigar aprovechando eficientemente este tipo de residuos, ya que las características químicas y biológicas que poseen estos residuos agroindustriales se pueden utilizar para diversas aplicaciones como: la obtención de productos de consumo y extracción de componentes, sin embargo, en el Ecuador no se registra el manejo de este tipo de residuos. (Riera et al., 2018).

La nanotecnología en la agricultura se está involucrando día a día en el crecimiento económico mundial; el cual entre otras aplicaciones permite la extracción de componentes de residuos orgánicos, entre ellos los nanocristales de celulosa (CNC), el cual es reconocido como un material innovador y de relevancia científica. Entre sus aplicaciones se puede mencionar películas para recubrimientos, refuerzo en polímeros, fibras y textiles, aplicaciones biomédicas, aplicaciones electrónicas, entre otras (Pech, 2018). La obtención de CNC a escala industrial a partir de desechos agrícolas para producir productos con valor agregado es aún un campo abierto para la investigación (Kaur, Kumari, & Sharma, 2018).

El presente estudio tiene como objetivo una revisión documental de los nanocristales de celulosa a partir de residuos agrícolas y sus métodos de extracción.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Área de estudio

El presente estudio documental, busco establecer si residuos agrícolas pueden ser usados para obtener nanocristales de celulosa, esto se realizó a través de la consulta de una serie de documentos (libros, revistas, informes, y demás documentos bibliográficos.). Los documentos empleados para este trabajo fueron seleccionados y analizados según el objetivo del estudio; donde se empleó la técnica de bibliografía anotada, que consistió en elaborar un listado de los documentos recopilados con información completa de las fuentes, y su vez también la técnica de la información sintetizada que ayuda a la comprensión de la problemática en estudio. Para encontrar la información pertinente se revisó diversas bases de datos digitales; utilizando palabras claves como: nanotecnología, celulosa,

residuos agrícolas entre las principales, se seleccionó diversos artículos los cuales fueron recopilados, organizados por temas, analizados y sintetizada la información útil para el estudio.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Resultados

3.1.1. Residuos agrícolas

Los residuos o subproductos agroindustriales se generan en cualquier proceso de producción y generalmente no poseen utilidad posterior en la cadena de producción (Vargas & Pérez, 2018). Son materiales adicionales de cultivos cosechados que tienen diferentes usos y se derivan de los cultivos de cereales, frutas, legumbres entre otros. Estos materiales en su mayoría no son destinados al consumo humano; entre estos desechos se incluyen: los tallos, las hojas, las cáscaras, las semillas, entre las principales partes excluidas (Rezanezhad et al., 2013).

Estos desechos agrícolas son aprovechados en pequeñas cantidades como: alimento de animales, en la obtención de energía por procesos de combustión, en la preparación de abonos orgánicos, entre otros, sin embargo, la mayor parte de estos son incinerados en cielo abierto causando contaminación ambiental (Arias & Meneses, 2016), los cuales según Vargas y Pérez (2008) producen problemas en medios abióticos, bióticos y socioeconómicos.

Los residuos agroindustriales son de naturaleza predominantemente sólida y orgánica, rica en polímeros de celulosa y hemicelulosa, aproximadamente entre un 75 y 80 % (Vargas & Pérez, 2018). Para Arias y Meneses (2016) los residuos son considerados como una fuente de biomasa lignocelulósica y cuentan con un alto potencial para ser aprovechados en diferentes procesos que incluyen la elaboración de nuevos productos o la agregación de valor a los productos originales.

El uso de los residuos agroindustriales consta de aplicaciones prometedoras en diversos campos industriales (de Oliveira et al., 2017). Actualmente se impulsa el desarrollo de tecnologías para el uso sustentable de los recursos naturales; las aplicaciones que se trabajan básicamente son para los tres siguientes grupos (Vargas & Pérez, 2018):

- La valorización biológica y química que permite obtener gases, líquidos o sólidos comercializables como pectinas, enzimas, aceites esenciales, fibra para alimentación animal e incluso humana, también para la producción de hongos comestibles, flavonoides y carotenoides.

- La obtención de combustibles como el biogás empleado para diversos, tanto para el primer y este segundo grupo los productos se obtienen comúnmente por proceso biológicos, por mencionar algunos podemos señalar al compostaje y lombricultura.
- Valorización térmica que busca la reducción del volumen de los residuos y la recuperación de energía usando procesos como incineración y pirólisis.

Entre los desechos agrícolas podemos encontrar: tallos de girasol, fibras de cáñamo, pulpa de bambú, algodón, corteza de abeto, fibras de sisal, fibras de hoja de piña, piel de ajo, cáscara de soja, paja de arroz, fibras de cáscara de coco, semillas de mango, desechos de algas rojas, residuos de cáscara de banano, y demás. El estudio de estos residuos en otras investigaciones de estos materiales lignocelulósicos ha permitido establecer que sus materiales lignocelulósicos poseen un elevado nivel de biodegradabilidad, una baja densidad y excelentes propiedades mecánicas como: una gran rigidez y resistencia (Collazo-Bigliardi et al., 2018).

3.1.2. Residuos agrícolas del cultivo de arroz

En el proceso de cosecha del arroz se obtiene inicialmente la paja de arroz de la cual se obtiene una (1) tonelada por cada ocho (8) toneladas cultivadas de este cereal; posterior en el proceso de pilado (Figura 1) se obtiene el arroz pilado (65,3%), el polvillo (9%), la cascarilla (23,2%), y el arrocillo (2,5%) (Abril et al., 2009).

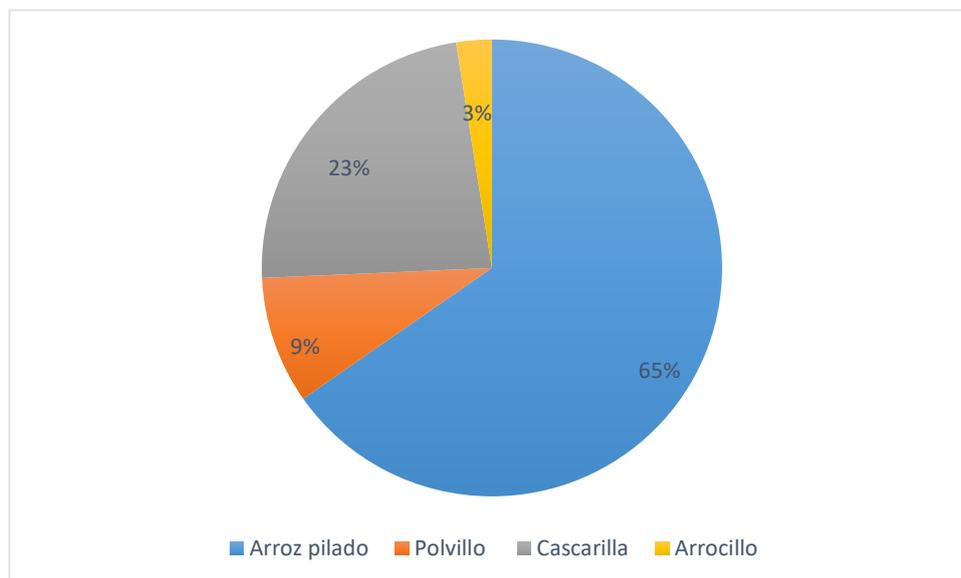


Figura 1. Productos del cultivo de arroz.
Fuente: (Peralta & Medina, 2021)

Entre las aplicaciones de la paja de arroz se pueden mencionar la incorporación directa a cultivos o en combinación con fertilizantes químicos; también, en compostaje por el alto contenido de silicio

que posee, para lo cual deben eliminarse los metales pesados con un tratamiento de lodos. Además, se puede mencionar su uso en la producción de energía, síntesis de compuestos a base de fibras naturales y plásticos, la extracción de pasta celulósica, hemicelulosa, lignina y derivados, y la producción de papeles (Abril et al., 2009).

El polvillo es un producto derivado que se origina por la fricción del grano en las máquinas pulidoras, se encuentra entre la cascara y el endospermo del grano. (Vargas et al., 2013).

El arrocillo (granos quebrados de arroz pulido), puede contener entre 6 y 20% de partículas oscuras entre los que podemos encontrar granos dañados por el proceso de pulido, fermentación o la acción de hongos. (Vargas et al., 2013).

La cascarilla de arroz es un residuo lignocelulósico que se obtiene de la producción de arroz (Naveda et al., 2019). En el país se produce 123 millones de toneladas de cascarilla de arroz, lo que representa el 20 al 25% de la producción total de la gramínea (Llanos et al., 2016).

La cascarilla de arroz tiene una naturaleza fuerte, leñosa y abrasiva; por lo cual, es resistente a factores ambientales, durante el tiempo de desarrollo de la planta, no es apta para el consumo humano debido a su alto contenido de sílice (Vargas et al., 2013). Entre las aplicaciones de la cascarilla se tiene: la creación de paneles de construcción, elaboración de materiales aislante, fabricación de aglomerados, tostado para sustrato en el cultivo (Santos & Silva, 2019), conversión de la biomasa desde la obtención de azúcares a la conversión de etanol y furfural, elaboración de abonos orgánicos como el compost, material para el cultivo de hongos, obtención de papel, material de construcción.

También la cascarilla es utilizada en la alimentación para animales de granja, con la desventaja de que aporta poca fibra a la dieta; además, puede provocar la irritación de los tractos digestivos por el alto contenido de sílice. Por esta razón en muchos países se permite incluir entre un 5 al 25% de este desecho (Vargas et al., 2013); la cascarilla se la usa también como material para crear la cama para animales.

Debido al alto contenido de silicio, la cascarilla se la usa para obtener productos de silicio (Santos & Silva, 2019), y como material de abrasivo para la limpieza de ciertos metales como hierro, acero, aluminio, latón, bronce (Kaur et al., 2018).

3.1.3. Residuos agrícolas del cultivo del plátano

La De la cosecha de los racimos de bananos y/o plátanos se utiliza del 20 al 30% de su biomasa, quedando residuos de un 70 a 80% sin aplicaciones; estos residuos de biomasa son el pseudo - tallo, raquis o tallo floral, y hojas (Mazzeo et al., 2010). Los bananos y plátanos son un alimento que genera

como residuos hojas, pseudo - tallo, y vástago o raquis, actualmente las hojas son aprovechadas con gran aceptación por parte de los consumidores como un envoltorio natural de alimentos, el pseudo - tallo a pesar de poseer aplicaciones alimenticias es nulamente explotado el mismo caso para el vástago.

El pseudo - tallo es una fuente de fibra y es semejante a un tronco; su núcleo central es suave y está envuelto con hasta 25 vainas de hojas que se desenvuelven del tallo y se transforman en hojas cuando han madurado (CFN, 2017) (Subagyo & Chafidz, 2020). Después de la cosecha el residuo de pseudo - tallo se calcula que la cantidad que se obtiene esta entre 60 a 80 toneladas por hectárea (Thorat & Bobade, 2018). Este residuo también se emplea en la fabricación de telas, cordones, hilos, material de protección para el interior de los vehículos, productos sanitarios especializados y de alta calidad para bebés, en la elaboración de papeles como billetes de banco, bolsas de café y té, telas de filtro, fibras de refuerzo para yeso, tejidos desechables y tejidos de densidad ligera (Mazzeo et al., 2010) y (Subagyo & Chafidz, 2020). Además, debido a sus propiedades antioxidantes se utiliza en la industria farmacéutica en la fabricación de medicamentos para trastornos urinarios; problemas estomacales como: diarrea, disentería en la eliminación de cálculo a los riñones, vesícula biliar y también ayuda a controlar la obesidad (Thorat & Bobade, 2018). Otra aplicación es la elaboración de harinas para consumo humano debido a los macronutrientes que posee como el potasio (K), sodio (Na), calcio (Ca), magnesio (Mg), fósforo (P) y vitamina B6 (Mazzeo et al., 2010).

El núcleo del pseudo - tallo después de la cocción se puede consumir o también se pueden preparar harina. El residuo debe ser cortado en pequeñas dimensiones y posteriormente ser secadas a temperaturas de 40 a 70 °C. Se utiliza con una preparación variada en productos de panadería y lácteos (Thorat & Bobade, 2018).

El pseudo - tallo del plátano son residuos lignocelulósico-provenientes del cultivo del plátano. Las características con mayor importancia del pseudo - tallo del plátano es la diversidad de componentes químicos que tiene como son: Na, K, Ca, Mg, P, Fe, Zn, Mn, la mayoría en importantes porcentajes; razón por la cual, se lo puede catalogar como un material residual que puede ser empleado en la alimentación humana y animal de forma directa o mediante el procesamiento industrial (Thorat y Bobade, 2018).

El vástago o raquis de banano, más conocido como tallo floral, es junto a la cáscara uno de los últimos residuos que se produce después del consumo del banano, y se suele utilizar como alimento para ganado de forma directa o mediante la industrialización en forma de harinas. (CFN, 2017) Debido a la calidad de sus nutrientes, actualmente es usado para la alimentación humana; además, es materia

prima para fabricar materiales fibrosos como papeles, materiales de construcción y artesanías. (Thorat & Bobade, 2018)

El tallo floral también tiene un alto porcentaje de compuestos lignocelulósicos con contenido de lignina de 18,69%, celulosa de 29,86%, y hemicelulosa 34,09% (Carchi, 2014), lo que le permite su aplicación en la industria textil (ropa, hilos y materiales similares), dentro de la nueva tendencia tecnológica para crear nuevos materiales textiles; sin embargo, debido a las características mencionadas se lo considera también como una buena fuente de obtención de CNC.

3.1.4. Residuos agrícolas del cultivo del maíz

Los residuos del maíz tienen limitadas aplicaciones como el uso de las mazorcas como material de construcción y carbón activado; las hojas de maíz son utilizadas como materia prima para azúcares fermentables y fuente de fibra suplementaria para papel; los tallos de maíz se usan como alimento para el ganado y biofertilizante (Maté, 2017). Estos residuos también son usados como fuente de energía a través de la conversión termoquímica en procesos de gasificación y pirólisis. Su envoltura se utiliza en preparaciones alimenticias o en la elaboración de artesanías (muñecas y otras decoraciones); se menciona también su uso como un té, debido a sus propiedades diuréticas (Maté, 2017).

3.1.5. Residuos agrícolas del cultivo de caña de azúcar

La caña de azúcar produce grandes cantidades de biomasa, pero solo una pequeña fracción tiene aplicación; entre algunos de los subproductos obtenidos se puede mencionar a la melaza, que es un jarabe oscuro que se utiliza para la preparación de alimentos, en aplicaciones industriales, la obtención de etanol y la elaboración de bebidas alcohólicas (Burgos, 2015) y (Quezada, 2015). Además de la melaza se aprovecha el bagazo, que es el residuo sólido resultante de la extracción del jugo de los tallos de la caña de azúcar, el cual contiene un material lignocelulósico, que se obtiene después de la filtración del jugo de caña de azúcar. Aproximadamente por cada 1000 toneladas de caña de azúcar procesada se generan alrededor de 270 toneladas de bagazo, y 34 toneladas de una especie de lodo (Martinez-Hernandez et al., 2018).

Las industrias encargadas del procesamiento de la caña de azúcar son los ingenios azucareros, industrias que utilizan el bagazo de caña como fuente primaria de combustible en forma de vapor para producir energía eléctrica, proceso que depende de la tecnología utilizada y de las características físicas que posee el residuo al momento de ser empleado. Sin embargo, este uso no es ideal en el manejo de residuos orgánicos debido a que la combustión produce emisiones muy contaminantes (Teixeira et al., 2015).

Otras aplicaciones del bagazo es la generación de biodiesel con pretratamiento e hidrólisis, seguido de un proceso de fermentación y deshidratación. También se lo utiliza como sustrato sólido para hongos en el crecimiento microbiano, fabricación de papel, alimento para el ganado, envase de alimentos desechables, producción de proteínas de células individuales, etanol, enzimas y aditivos alimentarios como la vainillina, xilitol y furfural (Martinez-Hernandez et al., 2018).

3.1.6. Residuos agrícolas del cultivo de piña

Durante el procesamiento de esta fruta quedan desechos de sus hojas y las cáscaras, estos residuos son poco utilizados, pero existen aplicaciones como: en compostaje, en producción de textiles, fabricación de pulpa y papel, alimentación animal, obtención de bromelina, producción de energía y refuerzo en compuestos poliméricos; sin embargo, la mayoría de estas fibras aún se queman (Prado & Spinacé, 2018).

3.2. Contenido lignocelulósico de los residuos agrícolas

El contenido lignocelulósico de la cascarilla de arroz está representado en contenido por lignina (9-26,10%), holocelulosa (56,71%), celulosa (28% - 41,20%), hemicelulosa (12% a 23,23%) (Santos & Silva, 2019) (Nascimento et al., 2016) (Llanos et al., 2016) (J. Vargas et al., 2013) (UPU, n.d.)

En el pseudotallo de plátano resalta la relevante cantidad de celulosa desde (31,21 % a 63,9%), y hemicelulosa desde (10,33 % a 26,67%) (Subagyo y Chafidz, 2020) (Carchi, 2014). El tallo floral también tiene un alto porcentaje de compuestos lignocelulósicos con contenido de lignina de 18.69%, celulosa de 29,86%, y hemicelulosa 34,09% (Carchi, 2014), lo que le permite su aplicación en la industria textil (ropa, hilos y materiales similares), dentro de la nueva tendencia tecnológica para crear nuevos materiales textiles; sin embargo, debido a las características mencionadas se lo considera también como una buena fuente de obtención de CNC.

Entre las características relevantes de la hoja de mazorca de maíz se pueden mencionar el elevado contenido de material lignocelulósico que está representado por celulosa 43,14%, holocelulosa 78.86%, y lignina 23,00% (Prado-Martínez et al., 2012), debido a esta características se lo cataloga como una importante materia prima para la elaboración de fibras suplementarias para el papel; sin embargo, este residuo no tiene mucha explotación; razón por lo cual, puede ser empleado en la obtención de nanocristales de celulosa con el fin de aprovechar satisfactoriamente este residuo agrícola.

El bagazo de caña de azúcar por su elevado contenido de material lignocelulósico que incluye a celulosa (32,44% a 55%), holocelulosa (desde 59-76%), hemicelulosa (de 20 a 27,5%), es un material óptimo para la extracción de CNC. Además, debido a estas propiedades es empleado en la fabricación

de papel y otros materiales biodegradables como: envase de alimentos; por otra parte, su procedencia la hace un material excelente para la proliferación de hongos, proteínas, enzima y otros aditivos. (Prado & Spinacé, 2018) (Teixeira et al., 2015)

La hoja y cascara de piña son residuos provenientes de la producción de piña, y entre sus características se puede encontrar pectina (2,32% y 2,49%, respectivamente) (Sánchez et al., 2014), por lo que estos residuos pueden ser aplicados en la industria alimenticia. En estos residuos también se resalta el gran contenido de material lignocelulósico la hoja de piña con 43,53 % de celulosa, lignina 13,88%, y hemicelulosa en 21,88%; y la cáscara de piña con celulosa de 40,55% a 74%, lignina 10%, y hemicelulosa 28,69%, (Sánchez et al., 2014) (TICSO, 2014), por lo cual, se puede establecer que estos residuos tienen potencial para ser aplicados en la obtención de CNC.

En la **Figura 2** se presenta los porcentajes de celulosa que contienen los residuos estudiados, en el caso de la cascarilla de arroz va desde 28% a 41,20%, el pseudotallo del plátano entre 31,21% a 63,90%, tallo floral de plátano 29.86%, la hoja de mazorca de maíz contiene 43,14%, el bagazo de la caña de azúcar posee 32,44% al 55%, la hoja y cascara de piña 43.53%, 40.55%, respectivamente.

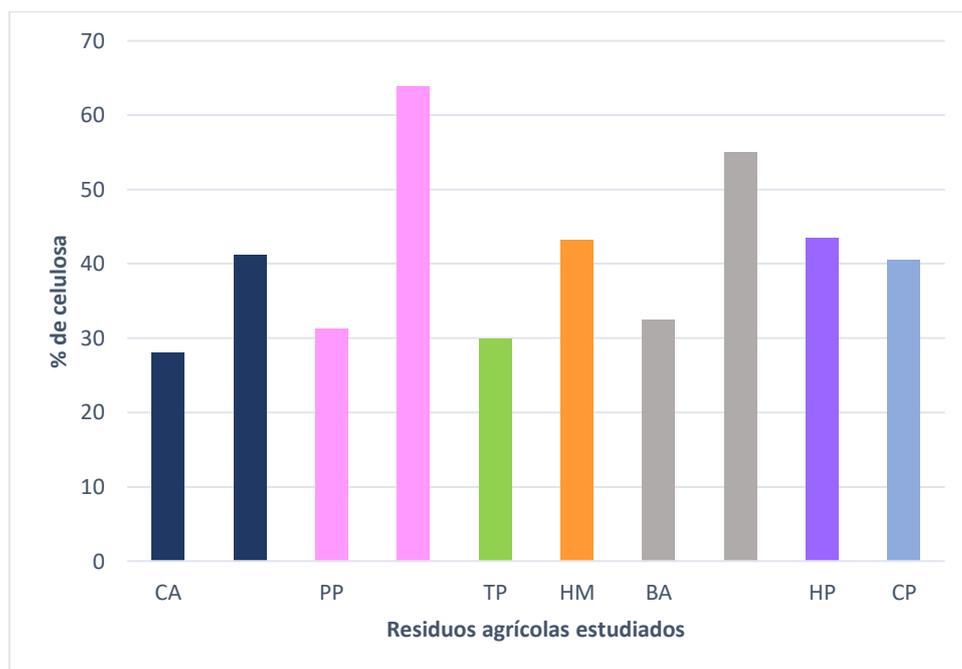


Figura 2. Contenido de celulosa de los residuos agrícolas CA (Cascarilla de arroz), PP (Pseudotallo de plátano), TP (Tallo foral de plátano), HM (Hoja de mazorca de maíz), BA (Bagazo de la caña de azúcar), HP (Hoja de piña), CP (Cascara de piña).

Fuente: (Peralta & Medina, 2021)

3.3. Nanocelulosa

La nanocelulosa se refiere a extractos celulósicos o materiales procesados; se puede dividir en tres tipos:

- Nano fibrillas de celulosa (CNF) o celulosa nano fibrilada (NFC).
- Celulosa bacteriana (BC)
- Nanocristales de celulosa (CNC), celulosa nanocristalina (NCC) o celulosa nanowhiskers (CNW)

Los diferentes tipos de nanocelulosa exhiben distintas propiedades para su aplicabilidad y funcionalidad (Abitbol et al., 2016). En comparación con las nanofibrillas de celulosa y celulosa bacteriana, la funcionalización de nanocristales de celulosa están generando mayor interés en su uso, principalmente debido a sus sorprendentes propiedades mecánicas e interesantes propiedades ópticas (Abitbol et al., 2016).

En la actualidad existe una gran demanda de materiales de alto rendimiento con propiedades mecánicas y físicas, requerimientos que han hecho de la nanocelulosa un material renovable atractivo (Abitbol et al., 2016).

La investigación de la producción de nanocelulosa y su aplicación en materiales compuestos, han ganado cada vez más atención científica, esto se debe a la serie de características físico – químicas presentes en la nanocelulosa, que incluyen: la renovabilidad, el bajo costo de la materia prima para su obtención, su relación superficie vs. volumen, la alta resistencia y rigidez, el bajo coeficiente de expansión térmica y peso, la baja densidad, la alta relación de aspecto, y la biodegradabilidad, entre otros (Kar et al., 2015).

3.3.1. Nanocristales de celulosa

Los nanocristales de celulosa (CNC) son partículas rígidas en forma de varilla (Belitz et al., 2009) y consisten en segmentos de celulosa con una estructura cristalina casi perfecta. Estas varillas poseen diámetros entre 3 a 20 nm (Pech, 2018) y longitudes de 100 a 1000 nm (Pereira & Arantes, 2018), pero varían en sus dimensiones según la fuente de origen (Pech, 2018). En comparación con la celulosa a granel que tiene mayores fracciones amorfas, estos nanocristales exhiben alta resistencia específica, área de superficie alta y propiedades cristalinas líquidas únicas (Belitz et al., 2009).

Los nanocristales de celulosa (CNC) han sido reconocidos como uno de los nanorrellenos más prometedores en la ciencia y la tecnología modernas debido a sus características sobresalientes las cuales dependen de su genética y también del proceso de aislamiento (Verma et al., 2021).

En los últimos años se ha informado un número excepcional de usos de nanocristales de celulosa (Kar et al., 2015), además son uno de los nanomateriales más destacados; adquiere varias propiedades, en particular en biodegradabilidad y bajo costo con estabilidad química. Estas propiedades hacen de los CNC un recurso prometedor para reemplazar los recursos fósiles para la producción de materiales

industriales, químicos y biocombustibles. Los CNC han atraído una gran atención debido a su naturaleza única, como renovable, no tóxico, de alta superficie y la utilización de grupos hidroxilo por su potencial de funcionalización para desarrollar diversos productos y reemplazar materiales tradicionales petroquímicos y no biodegradables. (Aziz et al., 2021).

Entre las aplicaciones de los CNC se puede mencionar la fotónica, películas, espumas, hidrogeles y cristales líquidos, optoelectrónica (Abitbol et al., 2016), y fortalecedores para compuestos, modificación de reología, biomateriales de envasado, cosméticas (Salas et al., 2014). También se utiliza en las preparaciones transdérmicas para mejorar los resultados clínicos (Aziz et al., 2021).

3.3.1.1. Extracción de los nanocristales de celulosa

Se han utilizado diversos materiales ricos en celulosa como materias primas en el proceso de síntesis de CNC, con diferentes enfoques para la preparación de CNC; estos métodos determinan el tamaño, la forma, la morfología y las propiedades estructurales de los nanomateriales de celulosa. (Pandi et al., 2021)

Los métodos para obtener los nanocristales de celulosa se basan en la eliminación de sitios amorfos que conforman las nanofibrillas de la fibra celulósica.

Los tratamientos del método químico son los más aplicados, mientras que los mecánicos y de conservación pueden ser aplicados solos o en conjunto según las condiciones del investigador.

a) Métodos químicos

1. Tratamiento de blanqueo: Es un tratamiento ampliamente utilizado para eliminar la mayor parte de lignina (sustancia de la pared celular de muchas células vegetales, las cuales da dureza y resistencia) y otros componentes con la ayuda de la combinación de agua destilada, después de la agitación de clorito de sodio y ácido acético con la biomasa lignocelulósica (Phanthong et al., 2018).

Las sustancias usadas en este tratamiento (clorito de sodio y ácido acético) suelen agregarse en intervalos de tiempo para controlar el valor del pH, a la mezcla que se mantiene agitada, le sigue un lavado con agua destilada hasta alcanzar un pH neutro (Phanthong et al., 2018).

Los productos sólidos obtenidos se denominan holocelulosa, son de color blanco e incluye hemicelulosa y celulosa (Phanthong et al., 2018); estas fibras se secan a temperaturas entre los 60°C y 130°C, en tiempos que varían de los 90 minutos hasta 6 horas.

2. Tratamiento alcalino: La fibra obtenida de este tratamiento es la celulosa, su proceso consiste en eliminar el polímero amorfo de hemicelulosa, los materiales no celulósicos y el resto de lignina. El alcalino generalmente utilizado es el hidróxido de sodio; con el cual los autores

indican procesos de agitación que van desde 90 minutos a 24 horas. Luego, los productos sólidos obtenidos se lavan por destilación con agua hasta alcanzar el pH neutro (Phanthong et al., 2018); finalmente, la muestra se seca.

3. **Hidrólisis ácida:** Este método químico involucra la digestión de la celulosa por una solución de ácido a temperaturas que van de los 45 a 60°C en un intervalo de tiempo de 15 minutos a 24 horas, luego la muestra se diluye con agua y se purifica mediante la centrifugación; posteriormente, se aplica sonicación con el fin de romper los agregados y generar una suspensión coloidal; para finalizar el proceso, se somete a la muestra a una diálisis con el fin de eliminar los iones e impurezas con bajo peso molecular (Blanco et al., 2018).

Este método facilita la eliminación de sitios amorfos que se distribuyen regularmente a lo largo de las microfibrillas (Belitz et al., 2009); la reacción de sustitución introduce grupos funcionales en la superficie de los nanocristales de celulosa que ayudan a la estabilización de las suspensiones de nanocelulosa, esto se produce debido a la elevada reactividad del grupo hidroxilo de la celulosa (Castro & Delgado, 2016).

El ácido sulfúrico y clorhídrico suelen ser los reactivos más utilizados (Pech, 2018) debido a que pueden penetrar fácilmente en las regiones amorfas que tienen un bajo nivel de orden e hidrolizadas, sin afectar las regiones cristalinas (Belitz et al., 2009). El ácido sulfúrico ocasiona la protonación del oxígeno cíclico y finalmente la ruptura de enlaces glucosídicos, este proceso produce cadenas más pequeñas de la estructura básica, dependiendo de las condiciones de hidrólisis se producen diferentes rendimientos de celulosa, también se usa los ácidos fosfórico y maleico (Pech, 2018).

b) Métodos mecánicos

1. **La ultrasonicación:** Es un proceso mecánico en el que se usa el poder oscilante para aislar la nanocelulosa por efecto de las fuerzas hidrodinámicas que son alimentadas por el ultrasonido; para este tratamiento se requiere una baja consistencia de la suspensión de celulosa. Procedimentalmente la suspensión de pulpa diluida se expone a ondas ultrasónicas que a la vez crean ondas alternas de baja presión y alta presión, las que crean y colapsan a la vez pequeñas burbujas de vacío; su eficiencia varía con la concentración y tamaño de la nanocelulosa; así como, la potencia, la temperatura y el tiempo después de la ultrasonicación, finalmente las suspensiones son centrifugadas para recuperar el sobrenadante (Blanco et al., 2018). Autores aplican potencia desde 0,02KHz hasta 25Khz a temperaturas inferiores a 4°C con un tiempo de aplicación de 4 minutos a 12 horas. (Mueller et al., 2014) (Huang et al., 2017) (Meng et al., 2018)
2. **El cryocrushing:** En este proceso las fibras de celulosa se congelan con nitrógeno líquido y se trituran por la fuerza de cizallamiento con bajo impacto mecánico, donde los cristales de hielo

ejercen presión sobre las paredes celulares, haciendo que se rompan y liberen los fragmentos de nanocelulosa de la pared celular (Blanco et al., 2018).

c) Método de conservación: a este método corresponde la liofilización

1. Liofilización: Es un método que permite prolongar el tiempo de vida útil del elemento, conservando las propiedades físicas y fisicoquímicas. Consiste en una congelación rápida y a baja temperatura para una posterior eliminación por sublimación del agua libre de la fase sólida acompañada de la evaporación de algunas porciones de agua no congelable, los materiales resultantes de este proceso poseen baja actividad de agua, bajos cambios en su volumen y forma, alta capacidad de rehidratación, aumento de porosidad, además presentan estado vítreo. (Ayala et al., 2010).

3.4. Discusión

Los residuos agrícolas arroz, maíz, plátano, caña de azúcar y piña generan biomasa residual en las diferentes etapas del proceso de producción con características físicas y composición química diferente, todos estos residuos son materiales que contienen cantidades importantes de componentes celulósicos, los cuales, con métodos y tratamientos químicos, mecánicos y de conservación en conjunto, permiten la obtención de nanocristales de celulosa.

4. CONCLUSIONES

La revisión documental de los nanocristales de celulosa a partir de residuos agrícolas de la producción de arroz, maíz, plátano, caña de azúcar, y piña, determinó que los mismos tienen un contenido celulósico relevante de aproximadamente el 28%, esto permite señalar que estos residuos son aptos para ser aprovechados en la obtención de nanocristales de celulosa. Es importante indicar que, debido a la elevada producción de estos cultivos, lo que a su vez involucra la ventaja de adquisición de considerables cantidades de residuo, la obtención de nanocristales de celulosa a escala industrial podría tomarse a consideración; además actualmente los nanocristales se presentan en el mercado como un material innovador con gran aceptación. Los métodos de extracción de los nanocristales de celulosa revisados fueron los métodos químicos, mecánicos y de conservación, e incluyen una aplicación conjunta en el proceso de obtención de nanocristales de celulosa a partir de los residuos agroindustriales; entre los procedimientos químicos que se pueden aplicar se encuentran: el tratamiento de blanqueo, el alcalino, y la hidrólisis ácida, los cuales son indispensables en el proceso; entre los métodos mecánicos que se pueden realizar esta el tratamiento de ultrasonido y el cryocrushing; y finalmente como un método de conservación, pero no obligatorio se puede utilizar la liofilización.

5. REFERENCIAS

- Abitbol, T., Rivkin, A., Cao, Y., Nevo, Y., Abraham, E., Ben-Shalom, T., Lapidot, S., & Shoseyov, O. (2016). Nanocellulose, a tiny fiber with huge applications. *Current Opinion in Biotechnology*, 39, 76–88. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2016.01.002>
- Abril, D., Navarro, E., & Abril, A. (2009). La paja de arroz. Consecuencias de su manejo y alternativas de aprovechamiento. *Revista de La Facultad de Agronomía*, 17, 69–79. https://www.researchgate.net/publication/268872442_La_paja_de_arroz_Consecuencias_de_su_manejo_y_alternativas_de_aprovechamiento
- Arias, R., & Meneses, J. (2016). Caracterización residuos agroindustriales (cascarilla de arroz y cascarilla de café), como materia prima potencial para la obtención de bioetanol. [Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua]. <https://repositorio.unan.edu.ni/3793/1/53860.pdf>
- Ayala, A., Serna, L. C., & Mosquera, E. (2010). Liofilización de la pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*). 121–127. <https://www.redalyc.org/pdf/1698/169815396002.pdf>
- Aziz, T., Ullah, A., Fan, H., Ullah, R., Haq, F., Khan, F. U., Iqbal, M., & Wei, J. (2021). Cellulose Nanocrystals Applications in Health, Medicine and Catalysis. *Journal of Polymers and the Environment*. <https://doi.org/10.1007/s10924-021-02045-1>
- Belitz, H.-D. (Hans-D., Grosch, W. (Werner), & Schieberle, P. (2009). *Food Chemistry*. Springer-Verlag. <https://books.google.com.ec/books?id=IPELBwAAQBAJ&pg=PA92&dq=Food+Chemistry&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwjVv32s-bpAhVSoFsKHUAhDsoQ6AEIMjAB#v=onepage&q=Food+Chemistry&f=false>
- Blanco, A., Monte, M. C., Campano, C., Balea, A., Merayo, N., & Negro, C. (2018). Nanocellulose for Industrial Use : Cellulose Nanofibers (CNF), Cellulose Nanocrystals (CNC), and Bacterial Cellulose (BC). In *Handbook of Nanomaterials for Industrial Applications*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813351-4.00005-5>
- Burgos, J. (2015). Estudio de la lámina óptima de riego para el cultivo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) en la parroquia San Carlos del cantón Naranjal - provincia del Guayas [Universidad de Guayaquil]. [http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/8373/1/Burgos Valencia Julio.pdf](http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/8373/1/Burgos%20Valencia%20Julio.pdf)
- Carchi, D. (2014). Aprovechamiento de los Residuos Agrícolas provenientes del cultivo de Banano para obtener Nanocelulosa [Universidad de Cuenca]. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/5292/1/tesis.pdf>
- Castro, F., & Delgado, F. (2016). La nanocelulosa : propiedades y aplicaciones. <https://www.ineel.mx/boletin022016/divulga.pdf>
- CFN. (2017). Ficha sectorial: Banano y plátanos. <https://www.cfn.fin.ec/wp-content/uploads/2017/09/Ficha-Sectorial-Banano.pdf>
- Collazo-Bigliardi, S., Ortega-Toro, R., & Chiralt, A. (2018). Isolation and characterisation of microcrystalline cellulose and cellulose nanocrystals from coffee husk and comparative study with rice husk. *Carbohydrate Polymers*, 191, 205–215. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.03.022>
- de Oliveira, J., Pinheiro, G., Oliveira, K., Mello, S., Sileira da Rosa, G., Guerra, A., & da Rosa Zavareza, E. (2017). Cellulose fibers extracted from rice and oat husks and their application in hydrogel. *Food Chemistry*, 221, 153–160. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.10.048>
- Huang, S., Zhou, L., Mei-Chun, L., Wu, Q., & Zhou, D. (2017). Cellulose Nanocrystals (CNCs) from Corn Stalk :Activation Energy Analysis. *Materials*, 1–13. <https://doi.org/10.3390/ma10010080>
- Kar, K., Pandey, J., & Rana, S. (2015). *Handbook of Polymer Nanocomposites. Processing, Performance and Application*. Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-45229-1>
- Kaur, M., Kumari, S., & Sharma, P. (2018). Chemically Modified Nanocellulose from Rice Husk : Synthesis and Characterisation. *AIR*, 13(3), 1–11. <https://doi.org/10.9734/AIR/2018/38934>
- Llanos, O., Ríos, A., Jaramillo, C., & Rodríguez, L. (2016). La cascarilla de arroz como una alternativa en procesos de descontaminación. *Producción + Limpia*, 11(2), 150–160. <https://doi.org/10.22507/pml.v11n2a12>
- Martinez-Hernandez, E., Amezcua-Allieri, M., Sadhukhan, J., & Anell, J. A. (2018). Sugarcane Bagasse Valorization Strategies for Bioethanol and Energy Production. In *Sugarcane - Technology and Research*. InTech. <https://doi.org/10.5772/intechopen.72237>
- Maté, B. (2017). Usos de las hojas del maíz. *EHow En Español*. https://www.ehowenespanol.com/usos-hojas-del-maiz-info_50053/
- Mazzeo, M., Libardo, L., Luis, M., Guerrero, L., & Botero, J. (2010). Aprovechamiento industrial de residuos de cosecha y poscosecha del plátano en el departamento de caldas. *Revista Educación En Ingeniería*, 128–139. https://www.acofi.edu.co/revista/Revista9/2010_I_02.pdf
- Meng, F., Wang, G., Du, X., Wang, Z., Xu, S., & Zhang, Y. (2018). Preparation and characterization of cellulose nanofibers and nanocrystals from liquefied banana pseudo-stem residue. *Composites Part B : Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2018.08.048>
- Mueller, S., Weder, C., & Foster, E. J. (2014). RSC Advances Isolation of cellulose nanocrystals from pseudostems of banana plants. *Royal Society of Chemistry*, 907–915. <https://doi.org/10.1039/c3ra46390g>

- Nascimento, P., Marim, R., Carvalho, G., & Mali, S. (2016). Nanocellulose Produced from Rice Hulls and its Effect on the Properties of Biodegradable Starch Films. *Materials Research*, 19(1), 167–174. <https://doi.org/10.1590/1980-5373-MR-2015-0423>
- Naveda, R., Jorge, P., Flores del Pino, L., & Lizardo, V. (2019). Remoción de lignina en el pretratamiento de cascarilla de arroz por explosión con vapor. *Revista Social Química de Perú*, 85(3), 352–361. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1810-634X2019000300007&script=sci_arttext
- Pandi, N., Sonawane, S. H., & Anand Kishore, K. (2021). Synthesis of cellulose nanocrystals (CNCs) from cotton using ultrasound-assisted acid hydrolysis. *Ultrasonics Sonochemistry*, 70, 105353. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2020.105353>
- Pech, S. C. (2018). Obtención y modificación de nanocristales de celulosa de residuos de Agave Tequilana Weber para la producción de nanorefuerzos para Poli (ácido láctico) [Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C.]. https://cicy.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1003/1271/1/PCM_D_Tesis_2018_Soledad_Pech.pdf
- Pereira, B., & Arantes, V. (2018). Nanocelluloses From Sugarcane Biomass. In *Advances in Sugarcane Biorefinery: Technologies, Commercialization, Policy Issues and Paradigm Shift for Bioethanol and By-Products* (pp. 179–196). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804534-3.00009-4>
- Phanthong, P., Reubroycharoen, P., Hao, X., Xu, G., Abudula, A., & Guan, G. (2018). Nanocellulose: Extraction and application. *Carbon Resources Conversion*, 1(1), 32–43. <https://doi.org/10.1016/j.crcon.2018.05.004>
- Prado-Martínez, M., Anzaldo-Hernández, J., Becerra-Aguilar, B., Palacios-Juárez, H., Vargas-Radillo, J., & Rentería-Urquiza, M. (2012). Caracterización de hojas de mazorca de maíz y de bagazo de caña para la elaboración de una pulpa celulósica mixta. *Madera y Bosques*, 18(3), 37–51. <http://myb.ojs.inecol.mx/index.php/myb/article/view/357>
- Prado, K., & Spinacé, M. (2018). Isolation and characterization of cellulose nanocrystals from pineapple crown waste and their potential uses. *International Journal of Biological Macromolecules*. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.10.187>
- Quezada, J. (2015). Determinación e información del consumo de jugo de caña pasteurizado y embotellado, en la ciudadela urdesa de la ciudad de Guayaquil y la elaboración de un plan de mercadeo [Universidad de Guayaquil]. http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/7987/1/TESIS_JONATHAN.pdf
- Rezanezhad, S., Nazanezhad, N., & Asadpur, G. (2013). Isolation of Nanocellulose from Rice Waste via Ultrasonication. *Lignocellulose*, 2(Bharadwaj 2004), 282–291.
- Salas, C., Nypelö, T., Rodríguez-Abreu, C., Carrillo, C., & Rojas, O. J. (2014). Nanocellulose properties and applications in colloids and interfaces. *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, 19(5), 383–396. <https://doi.org/10.1016/j.cocis.2014.10.003>
- Sánchez, M., Ramos, M., Mora, R., & Jimenéz, E. (2014). Chemical Characterisation of the Industrial Residues of the Pineapple (*Ananas comosus*). *Journal of Agricultural Chemistry and Environment*, 3, 53–56. <https://doi.org/10.4236/jacen.2014.32B009>
- Santos, J., & Silva, C. (2019). Obtención de celulosa a partir de cascarilla de arroz mediante hidrólisis ácida.
- Subagyo, A., & Chafidz, A. (2020). Banana Pseudo-Stem Fiber: Preparation, Characteristics, and Applications. In *Banana Nutrition - Function and Processing Kinetics*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.82204>
- Teixeira, S., Arenales, A., Eunice De Souza, A., Da Silva Magalhães, R., Vilche, A., Aquino, D., & Freire, R. (2015). Sugarcane bagasse: Applications for energy production and ceramic materials. *Journal of Solid Waste Technology and Management*, 41(3), 229–238. <https://doi.org/10.5276/JSWTM.2015.229>
- Thorat, R., & Bobade, H. (2018). Utilization of banana pseudo stem in food applications. *Internacional Journal Agricultural Engineering*, 11, 86–89. <https://doi.org/10.15740/HAS/IJAE/11>
- TICSO. (2014). Aprovechamiento residuos biomasa de producción de piña (ananas comosus) para municipio de aguazul casanare. http://aguazulcasanare.micolombiadigital.gov.co/sites/aguazulcasanare/content/files/000022/1068_docfinalbio masapia_1.pdf
- UPU. (n.d.). Cascarilla de arroz. Retrieved July 13, 2020, from <http://www.upv.es/resiagri/ficheros/i0106.pdf>
- Vargas, J., Alvarado, P., Vega-Baudrit, J., & Porras, M. (2013). Caracterización del subproducto cascarillas de arroz en búsqueda de posibles aplicaciones como materia prima en procesos. *Revista Científica*, 23(1). <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5069938.pdf>
- Vargas, Y., & Pérez, L. (2018). Aprovechamiento de residuos agroindustriales en el mejoramiento de la calidad del ambiente. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 1(1). <https://doi.org/10.18359/rfcb.3108>
- Verma, C., Chhajer, M., Gupta, P., Roy, S., & Maji, P. K. (2021). Isolation of cellulose nanocrystals from different waste bio-mass collating their liquid crystal ordering with morphological exploration. *International Journal of Biological Macromolecules*, 175, 242–253. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.02.038>

Contribución de autores

Autor	Contribución
Wendy Elizabeth Peralta Holguín	Concepción, adquisición de datos e información bibliográfica, diseño de metodología, redacción del artículo, construcción de gráficos, análisis e interpretación.
Carlos Alcibar Medina Serrano	Revisión del documento y validación.

Citación sugerida: Peralta, W., Medina, C. (2021). El papel de los residuos agrícolas en la extracción de nanocristales de celulosa. Revista Bases de la Ciencia, 6(2), 57-74. DOI: https://doi.org/10.33936/rev_bas_de_la_ciencia.v%vi%i.3009
Recuperado de: <https://revistas.utm.edu.ec/index.php/Basedelaciencia/article/view/3009>



ANÁLISIS DE CORRESPONDENCIAS MÚLTIPLE PARA DESCRIBIR EL COMPORTAMIENTO PROAMBIENTAL DEL CIUDADANO DE MANABÍ-ECUADOR PARA EL AÑO 2018

Bryan Cruz^{1*}, Lelly Useche²

¹Estudiante de maestría investigativa en Estadística Aplicada en el Instituto de Posgrado de la Universidad Técnica de Manabí. Ecuador. E-mail: bryan_cruz17@outlook.com

²Departamento de Matemáticas y Estadística. Instituto de Ciencias Básicas. Universidad Técnica de Manabí. Ecuador. E-mail: lelly.useche@utm.edu.ec

*Autor para la correspondencia: bryan_cruz17@outlook.com

Recibido: 12-02-2020 / Aceptado: 12-08-2021 / Publicación: 30-08-2021

Editor Académico: David Herrera Araya

RESUMEN

El presente estudio propone describir un perfil del ciudadano manabita con respecto al comportamiento proambiental con un enfoque multivariante. Para la elaboración de la descripción del perfil se trabajó con una muestra obtenida mediante un muestreo probabilístico polietápico elaborado por el Instituto Nacional de Estadística y Censo del Ecuador, sobre la información de hogares del año 2018 mediante la Encuesta Nacional Multipropósito, en la que se seleccionaron diferentes variables referentes a las condiciones de vidas y problemas ambientales que puedan perturbar sus condiciones de vida y salud. Mediante el análisis de correspondencias múltiples se pudo observar que el perfil del ciudadano manabita con respecto al comportamiento proambiental es muy bajo: se caracteriza en que entre un 66,2% y un 95,1% no clasifican los residuos ni orgánicos ni inorgánicos. Con respecto a los problemas ambientales en la comunidad donde viven, las estadísticas muestran entre un 57,2% y un 72,8% y favorables a la conservación del ambiente, se determinaron tres grupos de ciudadanos proambientalistas. La técnica de análisis de correspondencias múltiples permitió definir perfiles proambientales en los ciudadanos.

Palabras clave: Perfil proambiental, Encuesta Nacional Multipropósito, Correspondencias Múltiples, Ecuador.

CORRESPONDENCE ANALYSIS TO DESCRIBE THE PRO-ENVIRONMENTAL BEHAVIOR OF THE CITIZEN OF MANABÍ-ECUADOR FOR THE YEAR 2018

ABSTRACT

The present study proposes to describe a profile of the Manabí citizen with respect to pro-environmental behavior with a multivariate approach. For the elaboration of the description of the profile, a sample obtained through a polyethapic probability sampling elaborated by the National Institute of Statistics and Census of Ecuador. This was based on the information of households of the year 2018 through the National Multipurpose Survey, where different variables referring to living conditions and environmental problems that could disturb their living conditions and terminating health were selected. Through the multiple correspondence analysis it was observed that the profile of the Manabí citizen with respect

to environmental behavior is very low. They are characterized in that between 66.2% and 95.1% do not classify the waste as neither organic nor inorganic. With regard to environmental problems in the community where they live, the statistics between 57.2% and 72.8% are favorable to the conservation of the environment, three groups of pro-environmental citizens were determined. The technique of multiple correspondence analysis allowed defining pro-environmental profiles in citizens.

Keywords: Pro-environmental profile, National Multipurpose Survey, Multiple Correspondences, Ecuador.

ANÁLISE DE CORRESPONDÊNCIAS MÚLTIPLAS PARA DESCREVER O COMPORTAMENTO PRÓ-AMBIENTAL DO CIDADÃO DE MANABÍ-EQUADOR PARA O ANO DE 2018

RESUMO

O presente estudo se propõe a descrever o perfil do cidadão Manabí quanto ao comportamento pró-ambiental com uma abordagem multivariada. Para a elaboração da descrição do perfil, trabalhou-se com uma amostra obtida por meio de uma amostragem probabilística com várias etapas, elaborada pelo Instituto Nacional de Estatística e Censo do Equador, sobre as informações de domicílios do ano de 2018 por meio da Pesquisa Multiuso Nacional, em que diferentes em que diferentes. Por meio da análise de correspondência múltipla Observou-se que o perfil do cidadão Manabí com relação ao comportamento ambiental é muito baixo, caracterizando-se que entre 66,2% e 95,1% não classificam os resíduos nem orgânicos nem inorgânicos. No que diz respeito aos problemas ambientais da comunidade onde vive, as estatísticas indicam que entre 57,2% e 72,8% são favoráveis à conservação do meio ambiente. Três grupos de cidadãos pró-ambientais foram determinados. Conclusão: a técnica de análise de correspondências múltiplas permitiu definir perfis pró-ambientais nos cidadãos.

Palavras-chave: Perfil pró-ambiental, Pesquisa Nacional Multiuso, Educação Ambiental, Correspondências Múltiplas, Equador.

1. INTRODUCCIÓN

El esfuerzo de los países por promover comportamientos proambientales entre sus ciudadanos y solventar la intervención del humano sobre los ecosistemas que ha ocasionado una crisis ambiental, producto del desarrollo y estilo de consumo humano (López et al., 2018). Sin embargo, las políticas de cada gobierno, las prácticas de los ciudadanos y los factores influyentes en el comportamiento de éstos pueden cambiar según el país, y aún, dentro de cada región o provincia, ya que puede estar influenciado por las costumbres propias de cada zona.

Estudiar el comportamiento ciudadano es una herramienta poderosa para abordar la investigación de los residuos municipales y fortalecer los comportamientos proambientales (Pierini et al., 2021). Entonces se puede afirmar que la tarea del comportamiento proambiental en los ciudadanos tal es profunda y comprometida para cambiar la sociedad y que la toma de conciencia se oriente hacia un desarrollo humano que sea simultáneamente causa y efecto de la sustentabilidad y la responsabilidad global.

En el Ecuador algunos estudios de alto impacto se han desarrollado en relación al comportamiento proambiental de sus ciudadanos, investigaciones como; el papel del compromiso afectivo de los empleados y el apoyo organizacional, el cual se analizó mediante ecuaciones estructurales, (Saifulina et al., 2021), relación con la naturaleza y preocupación ambiental de los jóvenes en Ecuador y Alemania (Dornhoff et al., 2019), uso de redes sociales como canales para fortalecer el desarrollo sostenible a partir de su naturaleza costo-eficiente en estudiantes de Ecuador (Büssing et al., 2019).

Por otra parte, los métodos multivariantes, específicamente la técnica clásica de análisis de correspondencias múltiples, es una técnica que relaciona de manera simultánea un conjunto de características principalmente de variables cualitativas y permite hallar perfiles de individuos con base en las combinaciones entre las diferentes categorías que puedan tomar cada una de estas características, siendo una técnica que ofrece grandes resultados en estudio de comportamientos sociales (Greenacre, 2008), además, el estudio del comportamiento social de los individuos es un fenómeno de carácter multifactorial, y no de hechos o enfoques aislados.

Es por ello que, la utilización de métodos multivariantes para describir o caracterizar perfiles de diferentes temas relacionado al medio ambiente es una buena alternativa de análisis, investigaciones así lo confirman, entre ellas se encuentran; caracterizar los hogares de la ciudad de Medellín con base en diferencias o similitudes en sus condiciones de vida o de salud (Vásquez et al., 2008), caracterización de infraestructura de viviendas mediante análisis de correspondencias (Useche et al., 2019). En el área ambiental se han realizado estudios de análisis de contaminación ambiental usando

componentes principales (Tello y Díaz, 2021), consumo humano de aguas de pozo (Andersen y Legal, 2017), entre otros. En lo que respecta a conductas proambientalistas, son escasas las investigaciones haciendo usos de estas técnicas. Algunas investigaciones en publicaciones de alto impacto se encuentran: Condiciones socioeconómicas y percepción de los riesgos ambientales en el delta del Mekong, Vietnam (Hak et al., 2016), y proambientales en tres megaciudades asiáticas: Bangkok, Tokio y Seúl. (Phuphisith et al., 2020), en ambos estudios demostraron diferentes relaciones de características hacia el medio ambiente, en muchos países se han promovido comportamientos proambientales (PEB) para mejorar los patrones de consumo y los estilos de vida de las personas de manera sostenible. Las prácticas actuales y los factores influyentes de las personas pueden diferir según el país, pero los estudios relacionados en la región asiática son limitados. Entre las sociedades en desarrollo y desarrolladas en el contexto asiático. Los resultados mostraron las diferentes tendencias hacia las prácticas y razones del PEB en las ciudades en desarrollo y desarrolladas. En Bangkok, los comportamientos más realizados se observaron en el área de ahorro de energía, mientras que los de Seúl y Tokio incluyeron varios dominios de PEB, como separación de residuos, ahorro de energía y transporte. Por otro lado, se observaron similitudes en los comportamientos menos conducidos en las tres ciudades, donde hubo menos participación en la compra de productos ecológicos.

Para el desarrollo local, las administraciones municipales deben instrumentar qué hacer y cómo hacer este proceso de asesoría, formación y capacitación, para ello, es necesario que las municipalidades se comprometan con sus ejecutivos con la planificación de las políticas ambientales y legales, pues de ellas se establecen los objetivos y meta ambientales; (Santistevan et al., 2019). La caracterización proambientalista de la provincia de Manabí permitirá determinar una base empírica sustentada estadísticamente y por tanto, de carácter científico para el análisis de supuestos de diferencias culturales específicas relacionadas con el ambiente, que servirán como ayuda para la toma de decisiones de planes estratégicos a seguir por las municipalidades, así como, para promover una cultura o una educación ambiental que contribuya a crear un comportamiento ambiental en nuestras comunidades fomentando, desde la educación básica en las instituciones educativa, ya que la academia se involucra como un factor importante (Cantos y Arvelo, 2021), para crear nexos y acciones sostenibles para el ambiente (Calero et al., 2016).

2. METODOLOGÍA

La población de estudio está conformada por todas las personas residentes en las viviendas de la provincia de Manabí, exceptuando la población que reside en viviendas colectivas, viviendas flotantes y población indigente (sin techo), con una muestra obtenida mediante un muestreo probabilístico

polietápico elaborado por el Instituto Nacional de Estadística y Censo del Ecuador, sobre la información de hogares del año 2018 mediante la Encuesta Nacional Multipropósito con un margen de error relativo del 12%, un nivel de confianza del 95% y una tasa de no respuesta del 20% (INEC, 2018).

Se hizo una fase inicial de depuración de la información tomando solo la encuesta correspondiente a la Provincia de Manabí- Ecuador. Se eliminaron todas las variables que se consideraron como constantes o identificadores no necesarios para el estudio, quedando un total de 62 variables y 367 individuos miembros de hogares en Manabí con edades iguales o mayores a doce años, la base de datos no cuenta con la variable edad ni género, sin embargo, el estudio se enfoca a la actividad y actitud ambiental que el ciudadano ejerce.

La base de datos de la encuesta multipropósito, trata sobre hábitos de comportamiento ambiental y consta de ocho bloques, cada uno de cuales los expertos suelen clasificar el fenómeno del comportamiento ambiental en los hogares de una circunscripción geográfica. Estos bloques son: clasificación de residuos, eliminación de los residuos orgánicos e inorgánicos, eliminación de residuos domésticos, comportamiento en el hogar, comportamiento en el hogar con relación al ahorro de la electricidad; problemas ambientales en la comunidad donde vive; acciones ambientales; actitudes ante la educación ambiental.

Los datos fueron procesados mediante el software SPSS 25 iniciando, con un análisis exploratorio de los datos mediante estadística univariante con la finalidad de conocer cada una de las características del ciudadano de manera individual, y observar aquellas características más importantes.

Luego, con base en los resultados obtenidos en el estudio univariante y para conocer la conducta del habitante y reacciones proambientalista, se procesa estadísticamente por medio de tablas de toso los 8 bloques conformados en la encuesta de estudio, mediante la técnica de análisis de correspondencia múltiple con la finalidad de estudiar las variables de manera simultánea con respecto a las mismas dimensiones en que se compone el estudio a nivel univariante, se procede mediante la técnica de Análisis de Correspondencia Múltiples (ACM) que es una técnica multivariada de reducción y categorización de variables.

Finalmente, se describe el perfil de los ciudadanos de la provincia de Manabí con respecto a conductas proambientalistas.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis Univariante de datos.

El Análisis Univariante de datos, permite un conocimiento previo de la información de los datos, sin embargo, esta etapa permite también conocer el comportamiento del ciudadano a sus conductas y actitudes proambientalistas, aunque de manera aislada, para ello se procesa estadísticamente mediante gráficos de barras cada uno de los ocho bloques conformados en la encuesta de análisis.

Clasificación de residuos: en la **tabla 1**, se aprecia cómo los ciudadanos de la provincia de Manabí entre un 66,2% y 95,1% no clasifican los residuos orgánicos e inorgánicos como por ejemplo el metal, el vidrio, el plástico y los Tetrapak.

Tabla 1. Porcentajes de clasificación de residuos orgánicos e inorgánicos

Clasificación de residuos orgánicos e inorgánicos		
Variables	Categorías	
	Si	No
Orgánicos	13,7	86,3
Papel, cartón	26,6	73,4
Plástico	33,2	66,8
Vidrio	11,4	88,6
Metal	12,0	88,0
Tetrapak	5,4	94,6

Fuente: Elaboración propia.

Eliminación de los residuos orgánicos e inorgánicos: en la **tabla 2**, se observa que la mayoría de los ciudadanos de la provincia de Manabí eliminan sus residuos con el servicio público de aseo urbano, principalmente los residuos orgánicos (un 79,8% de la población), siendo no aprovechados como abono, solo un 9,5% lo usa como compost (posiblemente las zonas rurales).

Tabla 2. Porcentaje de eliminación de residuos orgánicos e inorgánicos.

Eliminación de residuos orgánicos e inorgánicos								
Variables	Categorías							
	Acopio o contenedor	Regalo o vendió	Acumuló con la basura común	Quemó	Botó a un cuerpo de agua	Preparo compost	Almacenó en su hogar	No los generó
Orgánicos	2,3	0,7	76,8	9,15	0,0	9,9	0,1	1,0
Papel, cartón	11,5	8,4	63,0	14,6	0,2	0,0	1,9	0,4
Plástico	12,2	14,3	57,0	12,5	0,0	0,0	2,9	1,1
Vidrio	5,0	3,1	67,4	3,3	0,6	0,0	2,0	18,7
Metal	5,4	4,2	57,6	2,9	0,0	0,0	3,3	26,6
Tetrapak	2,8	1,2	55,1	3,0	0,3	0,0	0,5	37,1

Fuente: Elaboración propia.

Eliminación de residuos domésticos: en la **tabla 3**, indica que, residuos como; pilas, medicamentos, aceites y/o grasas, focos ahorradores y envases de limpieza son desechados en la mayoría de los casos por medio del servicio de aseo urbano, sin una clasificación previa, los cuales son materiales de alta peligrosidad y de alta contaminación en los vertederos una vez que lleguen allí.

Tabla 3. Tabla de porcentajes de eliminación de residuos domésticos.

Variables	Eliminación de residuos domésticos							
	Acopio o contenedor	Regalo o vendió	Acumuló con la basura común	Quemó	Botó a un cuerpo de agua	Preparo compost	Almacenó en su hogar	No los generó
Pilas	5,7	0,6	69,5	5,8	1,9	0,0	5,2	11,3
Medicamentos	5,8	0,0	75,1	8,3	0,8	0,0	2,5	7,6
Desechos electrónicos	7,5	2,0	41,9	4,5	0,0	0,0	2,7	41,4
Aceite y/o grasas	6,4	0,0	70,9	6,3	4,1	4,1	0,3	7,6
Focos ahorradores	6,1	0,6	75,5	5,4	0,0	0,0	3,6	8,8
Productos de limpieza del hogar	7,1	0,0	65,3	7,3	0,0	0,0	1,1	19,1
Cartuchos y tóneres	6,2	0,0	24,6	0,6	0,0	0,0	0,6	68,0

Fuente: Elaboración propia.

Comportamiento en el hogar con relación en el ahorro de agua: en la **tabla 4**, se aprecia que el 74,2% de las personas no acostumbran a colocar una botella en el tanque del inodoro con la finalidad de reducir el consumo de agua en el hogar, así como, un 41,7% no acostumbran a revisar tubería por si hay alguna fuga de agua. Como un aspecto positivo, la mayoría de los ciudadanos (un 68,5%) si tienen la costumbre de cerrar la llave mientras se enjabonan o se cepillan los dientes, así como cerca de la mitad de la población entre un 45,1% reúsan el agua, usan balde en vez de manguera para lavar los vehículos y toman duchas cortas (menos de 10 minutos), siendo acciones que ayudan a la Conservación del agua.

Tabla 4. Porcentajes de comportamiento en el hogar con relación en el ahorro de agua

Variables	Comportamiento en el hogar con relación en el ahorro de agua		
	Si	No	No aplica
Reúsan el agua	45,1	54,9	0,0
Utilizan balde en lugar de manguera	47,1	30,9	22,0
Cierran llaves mientras jabonan	68,5	9,5	22,0
Se ducha en menos de 10 minutos	51,0	26,9	22,0
Revisan regular mente las tuberías	36,2	41,7	22,0

Dispone de aparatos electrodomésticos ahorradores de energía	12,5	65,4	22,0
Disponen de inodoro doble descarga	11,6	64,2	24,2
Colocan una botella de agua u otro objeto dentro del tanque de inodoro	1,7	74,2	24,2

Fuente: Elaboración propia.

Comportamiento en el hogar en relación en el ahorro de electricidad: en la **tabla 5**, se aprecia que el 86,8% si utilizan pilas que estén en buen funcionamiento con la finalidad de reducir el consumo de energía en el hogar, así como, un 86,5% si acostumbran a desconectar los aparatos electrónicos que no estén utilizando. Como un aspecto negativo, la mayoría de los ciudadanos (un 58%) no cuentan con aparatos electrodomésticos ahorradores de energía, así como cerca más de la mitad de la población con un 86,6% no disponen de paneles solares por el alto costo, con un 95,4% si apagan los focos al salir de una habitación, siendo acciones que ayudan al ahorro energético.

Tabla 5. Porcentaje del Comportamiento en el hogar con relación al ahorro electricidad.

Comportamiento en el hogar con relación al ahorro electricidad			
Variables	Categorías		
	Si	No	No aplica
Utilizan pilas que estén en funcionamiento	86,8	13,2	0,0
Desconectan los aparatos electrónicos y electrodoméstico cuando no lo usan	86,5	12,2	1,3
Apagan los focos al salir de una habitación	95,4	3,5	1,1
Introducen alimentos calientes en el refrigerador	6,2	92	1,8
Planchan la mayor cantidad de ropa posible en una sola vez	36,6	59,3	4,1
Abren las cortinas y persianas para aprovechar la luz del sol	89,7	9,2	1,1
Disponen de aparatos electrodomésticos ahorradores de energía	40,9	58,0	1,1
Disponen de paneles solares	2,9	89,6	7,6

Fuente: Elaboración propia.

Problemas ambientales en la comunidad donde vive; en la **tabla 6**, se aprecia los problemas ambientales en la comunidad donde vive, entre un 57,2% y 72,8% son favorables a la conservación del ambiente, ya que manifiestan no tener contaminación visual (71,7%), ni acumulación de basura (72,8%), entre otros. Un 42,8% manifiestan contaminación del aire, un 40,6% indican que en su comunidad hay ruidos excesivos y un 40,1% manifiestan tener agua contaminada. En cuanto a los

animales, un 35,4% manifiestan tener animales callejeros y un 36,2% tener excretas de animales en áreas comunes en la localidad.

Tabla 6. Porcentajes de problemas ambientales.

Variables	Categorías	
	Si	No
Contaminación visual	28,1	71,9
Agua contaminada	36,2	63,8
Ruidos excesivos	39,4	60,6
Acumulación de desechos	26,7	73,3
Contaminación del aire	42,2	57,8
Presencia de animales callejeros	36,0	64,0
Excreta de animales	36,4	63,6

Fuente: Elaboración propia.

Acciones ambientales en la **tabla 7**, referente a las acciones a favor del ambiente se aprecia que solo un 18% ha participado en al menos una actividad ambiental, un 8,7% ha colaborado con tiempo o dinero en alguna organización en defensa del ambiente, un 11,2% ha participado en voluntariados ambientales, un 7,9% ha manifestado en contra de alguna situación perjudicial para el medio ambiente, así como también un 7,9% ha denunciado personalmente algún problema ambiental que haya identificado.

Tabla 7. Porcentajes de acciones ambientales.

Variables	Categorías	
	Si	No
Hogares que han participado al menos en una actividad ambiental	18,9	81,1
Recibió información relativa a la protección y cuidado del ambiente	46,7	53,3
Colaborar con tiempo o dinero en alguna organización en defensa del ambiente	9,5	90,5
Participar en voluntariados ambientales	12,4	87,6
Manifestarse contra alguna situación perjudicial para el medio ambiente	8,1	91,9
Denunciar personalmente algún problema ambiental que haya identificado	7,2	92,8
Mayor control de autoridades competentes	89,9	10,1
Implementación de campañas de capacitación a la comunidad	86,6	12,4
Incentivos a las comunidades que mitigar los problemas ambientales	84,3	15,7
Recolección diferenciada de desechos	87,4	12,6

Mingas barriales	90,3	9,7
Creación y aplicación de ordenanzas más rigurosas	84,1	15,9
Aplicar buenas prácticas ambientales desde el hogar	92,5	7,5
Replicar las buenas prácticas ambientales entre vecinos	92,6	7,4
Mejorar el transporte público	93,0	7,0
Incentivar el uso de bicicleta	88,1	11,9
Incrementar los espacios verdes	92,2	7,8

Fuente: Elaboración propia.

Actitudes ante el medio ambiente: en la **tabla 8**, finalmente, un gran porcentaje de la población, el 91% considera que se debe mantener un mayor control por parte de las autoridades competentes; un 88% está de acuerdo con implementación de campañas de capacitación a la comunidad; un 86,4% con incentivar a las comunidades que mitigan los problemas ambientales; un 88,6% a la recolección diferenciada de desechos; un 85,8% en la creación y aplicación de ordenanzas más rigurosas; un 93,2% en aplicar buenas prácticas ambientales desde el hogar y un 88,6% en incentivar el uso de bicicletas. Finalmente, en la figura 2.d), sobre la actitud ante la educación ambiental, llama la atención, que el 60% de los ciudadanos consideran que toda persona, empresa, y hogar es responsable de la protección del medio ambiente. Sin embargo, hay un 10% que se mantiene neutro en su opinión al manifestar ni acuerdo/ni desacuerdo, y casi un 2% que no sabe ni responde. La neutralidad o la abstención para responder pueden ser debido a la falta de conocimientos con respecto al tema.

Tabla 8. Porcentajes de actitudes ante el medio ambiente.

Variables	Comportamientos proambientalistas					
	T. en desacuerdo	Lig. en desacuerdo	NA/ND	Lig. de acuerdo	T. de acuerdo	NS/NR
Toda persona es responsable de la protección del medio ambiente	4,3	1,4	11,0	15,4	65,2	2,7
El gobierno es el principal responsable de la protección del medio ambiente	8,7	5,5	12,3	16,7	54,4	2,4
Las empresas son las principales responsables de reducir el deterioro del medio ambiente	7,2	2,6	11,8	13,9	63,6	0,9
Mi hogar es responsable de reducir el deterioro del medio ambiente	5,0	2,1	14,1	14,1	62,1	2,5
Todos los hogares son responsables de reducir el deterioro del medio ambiente	3,0	2,0	13,1	17,3	62,6	1,8
No estoy dispuesto a cooperar para reducir el deterioro ambiental si los demás no hacen lo mismo	38,7	7,2	12,3	9,7	27,9	4,2

Proteger el ambiente encarece el costo de la vida	26,0	8,3	14,6	13,3	32,3	5,4
Proteger el ambiente genera ahorros económicos para mi hogar	6,2	6,2	17,2	12,4	55,7	2,4
Proteger el ambiente requiere tiempo y esfuerzo	11,4	4,9	14,7	17,0	50,5	1,4

Fuente: Elaboración propia.

Análisis de Correspondencias Múltiple.

Esta técnica, permite describir al ciudadano de la provincia de Manabí de manera más completa al observar qué categorías están más relacionadas y, por lo tanto, comunes o asociadas a algún comportamiento o actitud ambientalista, o, por el contrario, la existencia de individuos que se comportan de manera positiva con respecto a algunas características, pero no necesariamente lo hacen con respecto a otras. El análisis se hace nuevamente para cada uno de los ocho bloques en el que está estructurada la encuesta:

Clasificación de Residuos: en la **figura 1**, se corrobora que el promedio de las personas no clasifica los residuos orgánicos, sin embargo, el plano ofrece información adicional en el sentido de que las personas que por lo general clasifican papel y cartón, también clasifican plástico, y las personas que clasifican vidrio, también clasifican metal, un grupo muy atípico son aquellos que clasifican solo Tetrapack.

Esta falta de conciencia en el reciclaje puede deberse a la falta de estrategias gubernamentales como la de la ciencia ciudadana siendo una herramienta poderosa para fortalecer los comportamientos proambientales en los hogares (Pierini et al., 2021). No se percibe conciencia sobre los impactos de la contaminación plástica, como si los hay en otros países (Soares et al., 2021).

Eliminación de los residuos orgánicos e inorgánicos: en la **figura 2**, se aprecia en cuanto a la eliminación de los residuos que la mayoría de las personas hacen uso del aseo urbano (“con la basura”), también existe la cultura de regalar o vender los residuos inorgánicos como el papel, cartón, plástico, metal y el vidrio, sin embargo, existe algunas personas que aún queman la basura generando contaminación, así como muy pocas personas lo llevan a un centro de acopio o contenedor.

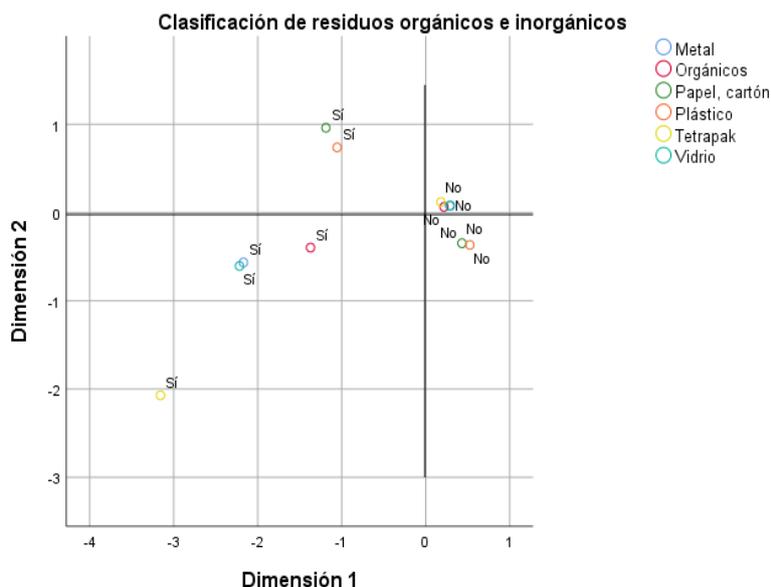


Figura 1. Plano factorial generado mediante ACM del bloque de clasificación de los residuos orgánicos e inorgánicos, **Fuente:** Elaboración propia.

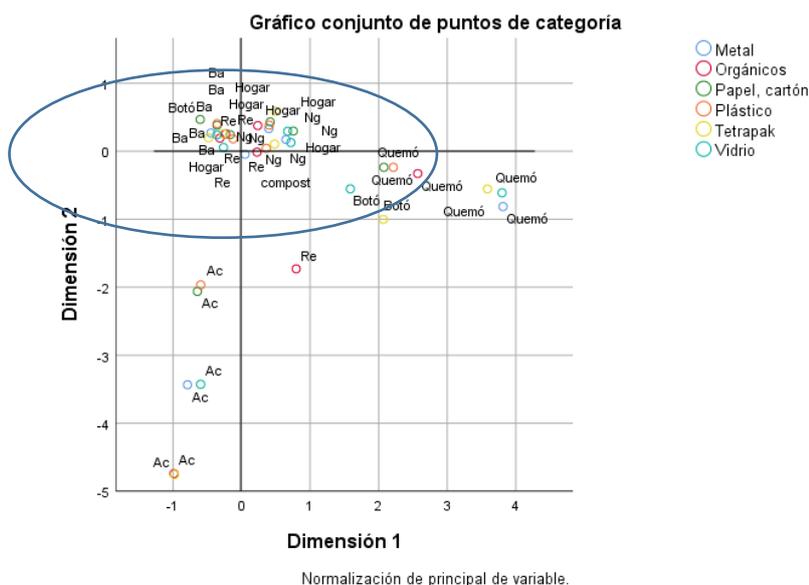


Figura 2. Plano factorial generado mediante ACM del bloque de eliminación de los residuos orgánicos e Inorgánicos. Ac: Acopio o contenedor; Re: Regalo o vendió; Botó: Botó a un cuerpo de agua; Hogar: Almaceno en su hogar; Compost; preparo compost; Ng: no los generó; Ba; almaceno los desechos con la basura común.

Fuente: Elaboración propia.

Eliminación de residuos domésticos: mediante el ACM del bloque de eliminación de los residuos domésticos, indica, en cuanto a la eliminación de otro tipo de residuos domésticos, la cultura es más o menos la misma a la anterior, la gran mayoría o no los genera o se van con la basura o el aseo urbano, para este tipo de material muy pocas personas optan por quemarlo y algunas lo llevan a un centro de acopio o contenedor como se describe en la **figura 3**. No se aprecia reciclaje de material electrónico, lo cual investigaciones al respecto por lo general manifiestan un bajo reciclaje de este

material, que puede depender de la actitud del ciudadano, de la disposición a pagar, de la información al respecto y de las normativas (Papaoikonomou et al., 2020).

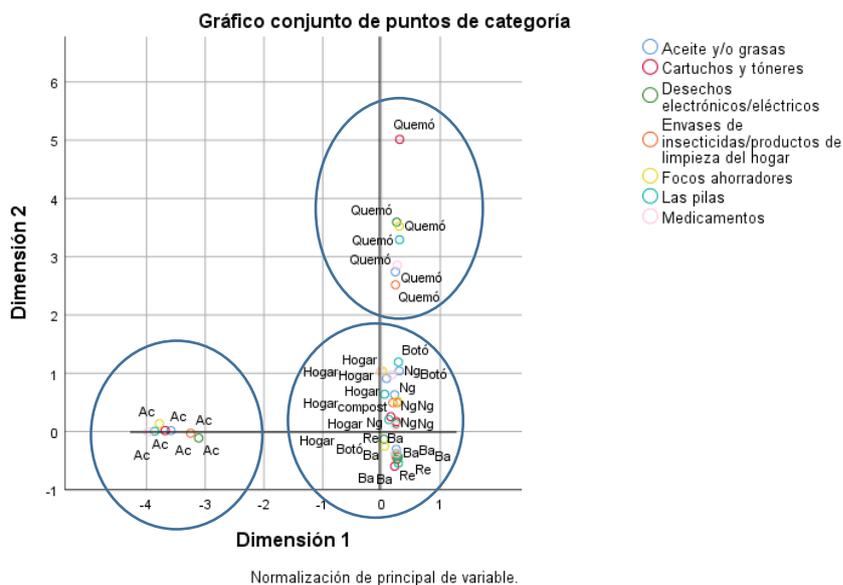


Figura 3. Plano factorial generado mediante ACM del bloque de eliminación de los residuos domésticos. *Ac: Acopio o contenedor; Re: Regalo o vendió; Botó: Botó a un cuerpo de agua; Hogar: Almaceno en su hogar; Compost; preparo compost; Ng: no los generó; Ba; almaceno los desechos con la basura común.

Fuente: Elaboración propia.

Comportamiento en el hogar: en la **figura 4**, muestra el plano factorial del bloque de comportamiento en el hogar y describe como en el primer bloque, separa las personas que indican que “no aplica” en las preguntas del instrumento o cuestionario, es posible que se trate del grupo de personas que no son las jefas de hogar. La segunda componente generada del plano factorial, trata de diferenciar aquellas personas que se comportan a de manera proambiental de las que no, con respecto al mejor aprovechamiento del agua en el hogar, las personas que disponen o están conscientes que tienen inodoro de doble descarga, disponen de aparatos ahorradores de energía, y otros, poco común colocan una botella de agua en el tanque del inodoro. Es necesario destacar los comportamientos proambientales relacionados con la reutilización del agua ya que son motivadores importantes tanto para la protección del medio ambiente como para el uso de agua regenerada, y estas motivaciones podrían afectar la decisión de los ciudadanos de aceptar la reutilización de agua regenerada (Liu et al., 2018).

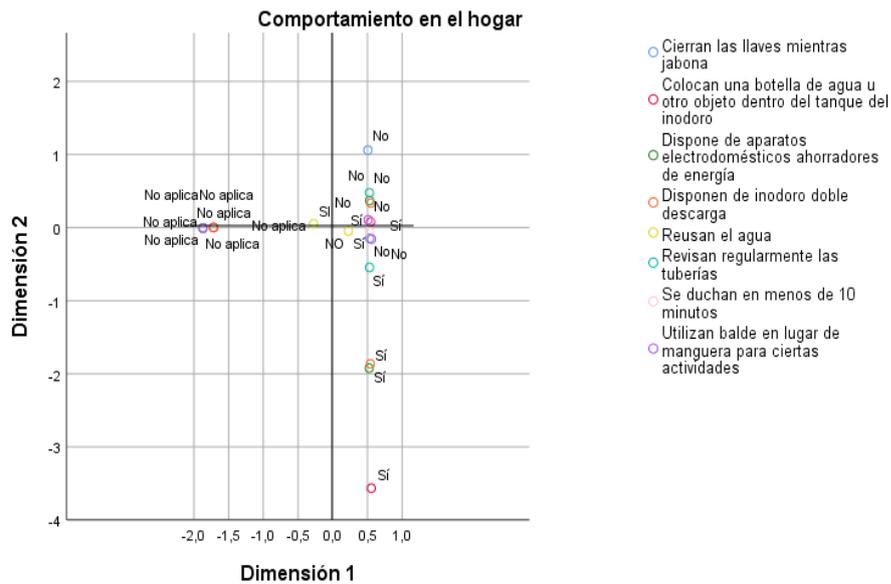


Figura 4. Plano factorial generado mediante ACM del bloque de comportamiento en el hogar.
Fuente: Elaboración propia.

Comportamiento en el hogar electricidad: en la **figura 5**, muestra el plano factorial generada mediante el ACM con respecto al uso de la electricidad en el hogar, ocurre una situación similar al caso anterior, un grupo de personas que indican que no aplica, sin embargo, dentro de los que aplican los grupos son muy similares los que si hacen un uso consciente del recurso y quiénes no. Esto es de esperarse, ya que en otros estudios han demostrado que el uso de la electricidad no se traduce en una práctica sostenible, necesitándose un conocimiento especial para la profundización en la concientización. (Sargisson y McLean, 2015).

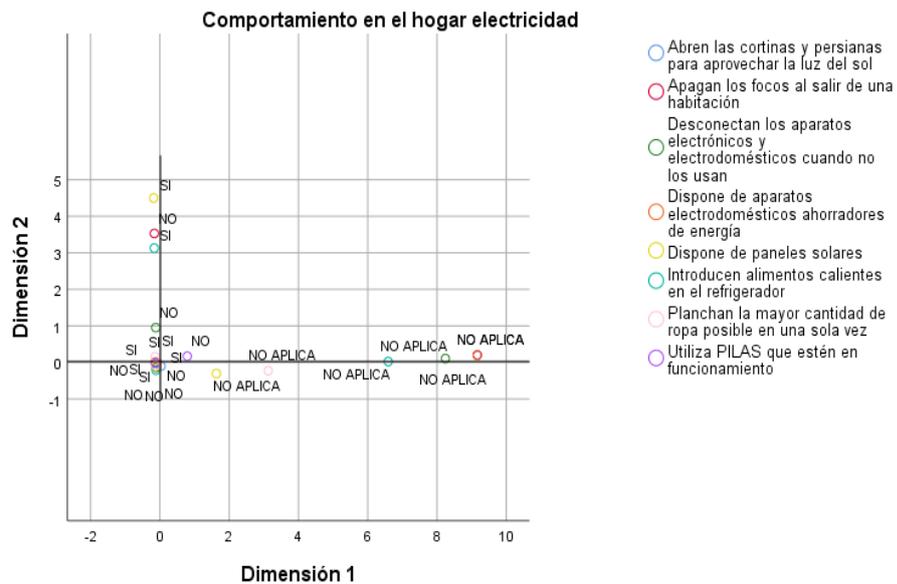


Figura 5. Plano factorial generado mediante ACM del bloque de comportamiento en el hogar electricidad.
Fuente: Elaboración propia.

Problemas ambientales en la comunidad donde vive: en cuanto a los problemas ambientales que afectan a su barrio o comunidad, la **figura 6**, muestra el plano factorial generado bajo el ACM en el

que se aprecia explícitamente dos grupos, los que sí tienen problemas en cuanto a agua contaminada, publicidad de carteles, ruidos excesivos, acumulación de basura y contaminación del aire; y un segundo grupo, que presenta problemas en cuanto a excretas de animales y presencia de animales callejeros, siendo un tema a considerar en una investigación adicional, por lo conocido de las implicaciones que todo ello acarrea con respecto a las condiciones sanitarias de la población.

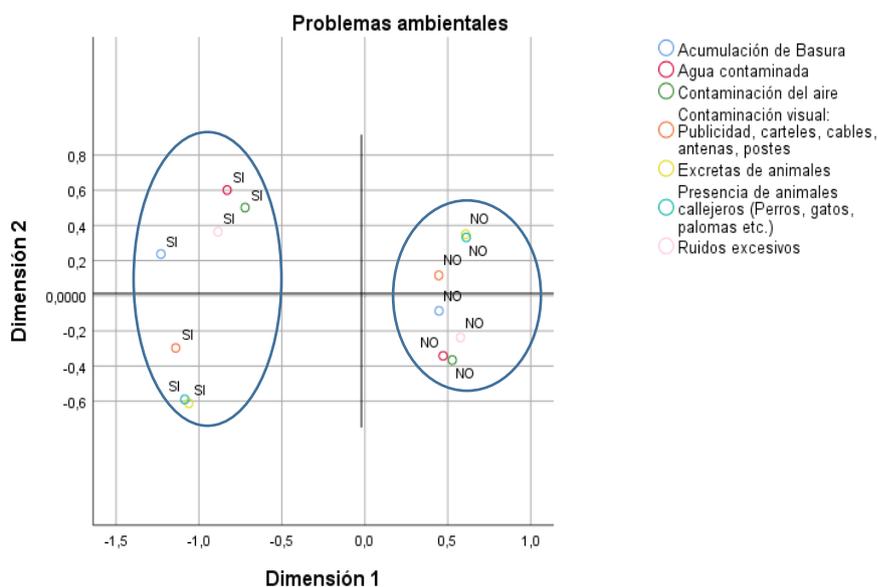


Figura 6. Plano factorial generado mediante ACM del bloque de educación en la comunidad.

Fuente: Elaboración propia.

Acciones ambientalistas: cómo se puede observar en la **figura 7**, de la dimensión de acciones o actividades ambientales, se tiene tres grupos de diferentes tamaños; un grupo pequeño en el que, sí participan voluntariamente en algunas de las diferentes acciones o actividades ambientales que se realizan en sus comunidades, otro grupo que no les interesa participar en ninguna actividad ambiental, y otro grupo que sí participa en diferentes actividades, pero en otras no participan. Con base en lo descrito y los bajos porcentajes observados en el análisis univariante de los ciudadanos activos y de los que reciclan, concuerda con los estudios hechos en Rumania en el que los determinantes más fuertes del comportamiento de reciclaje son las actitudes y hábitos de las personas y, que el género, los ingresos, la percepción de disponibilidad de puntos de recolección y la normativa no influyen (Colesca et al., 2014).

Actitud ante el medio ambiente: el plano factorial generado mediante ACM del bloque de actitud ante la educación ambiental de la **figura 8**, se observa, como es la actitud proambientalista en los hogares de Manabí, se aprecia, a excepción del grupo que no responde, están dividido en las cuatro opiniones, es decir, entre totalmente de acuerdo hasta totalmente en desacuerdo, de manera proporcionalmente igual, sin embargo, es importante destacar que mantienen la misma actitud con respecto a la

responsabilidad tanto para el gobierno, empresa, hogar y como individuo sin darle mayor peso algún ente con respecto a los otros.

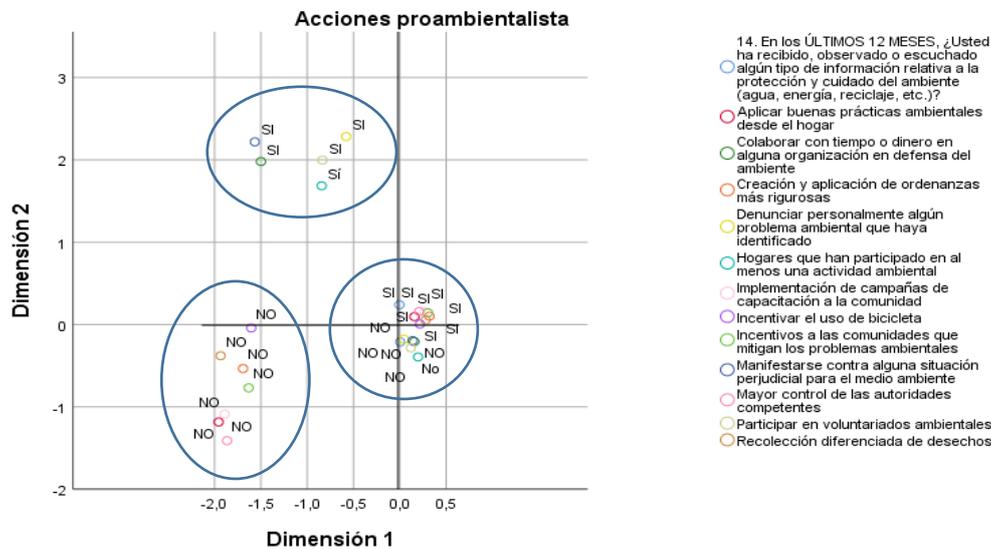


Figura 7. Plano factorial generado mediante ACM del bloque de acciones ambientales.
Fuente: Elaboración propia.

Características Proambientales: finalmente, y con el objetivo de describir la relación entre las principales características de cada uno de los bloques, es decir, de las dimensiones o grupo de características relacionadas con las conductas proambientales, se lleva a cabo un análisis de correspondencias múltiple, con la finalidad de relacionar las variables que más resaltaron o mayor peso tenían en cada bloque y sus respectivas opciones de respuesta, obteniéndose los resultados que se muestran en la **figura 9**.

En la **figura 9**, si se observa las relaciones entre las categorías de las variables o características principales de cada bloque, formándose tres grupos:

Grupo 1: pueden considerarse grupos altamente proambientalistas, ya que está formado por los ciudadanos que se manifiestan en contra de alguna situación perjudicial para el medio ambiente, colaboran con tiempo y recursos para alguna organización en defensa del ambiente y participan en voluntariados ambientales, denuncian personalmente algún problema ambiental y el papel o cartón lo regalan o lo llevan a un acopio o contenedor.

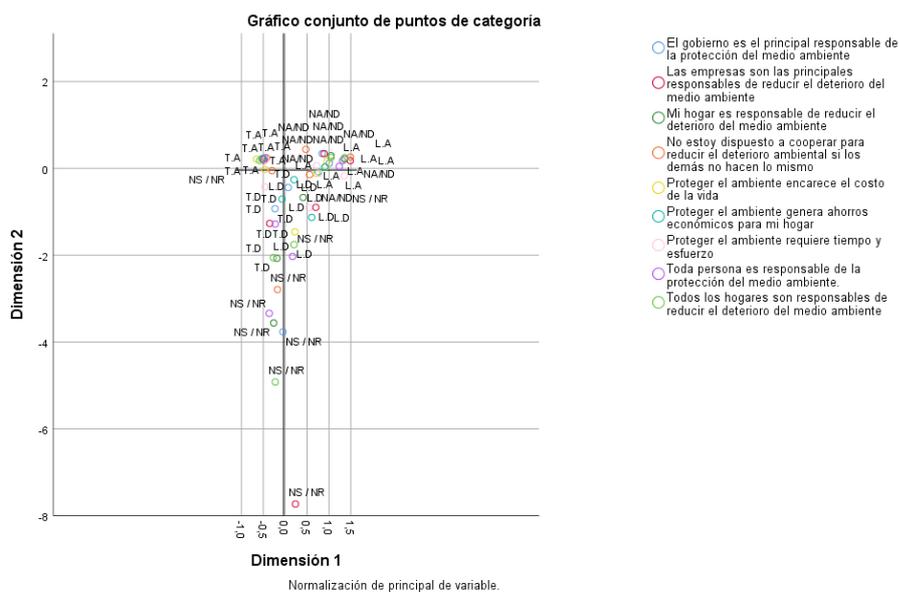


Figura 8. Plano factorial generado mediante ACM del bloque de actitud ante la educación ambiental. * NA/ND: ni en acuerdo ni desacuerdo; NS/NR: no sabe o no responde; L.A: ligeramente de acuerdo; T.A: totalmente de acuerdo; T.D: totalmente en desacuerdo; L.D: ligeramente en desacuerdo.

Fuente: Elaboración propia.

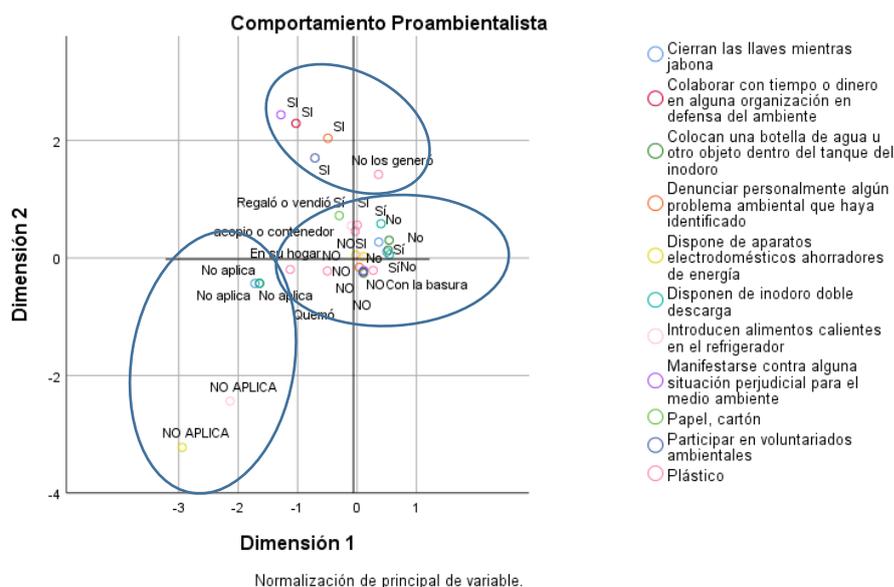


Figura 9. Plano factorial generado mediante ACM de Conjunto de variables de las diferentes dimensiones.

Fuente: Elaboración propia.

Grupo 2: es el grupo más heterogéneo y donde se encuentra la mayoría de los ciudadanos, en ellos se encuentran los ciudadanos con conciencia proambiental que sí disponen de inodoros de doble descarga o si colocan una botella de agua u otro objeto en el tanque del inodoro, están conscientes de tener aparatos ahorradores de energía o ecológicos y están relacionados con las personas que acostumbran a cerrar la llave, no generan desechos de papel y de cartón, no introducen alimentos calientes dentro del refrigerador, pero no son activos en acciones ambientalistas, ya que en este mismo

grupo se encuentran aquellos que no se manifiestan contra alguna situación perjudicial, no denuncian personalmente algún problema ambiental y el papel y cartón lo botan con la basura.

Grupo 3: formado por ciudadanos que consideran que no aplica ninguna de las características en estudio y además queman la basura, posiblemente son ciudadanos de las áreas rurales que podrían estudiarse en futuras investigaciones con mayor detalle.

4. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en el estudio se pueden concluir;

La estadística univariante permite ver las características de manera detallada, sin embargo, se aprecian inconsistencias entre una respuesta con otras, en el cual relacionar de manera simultánea las características de clasificación y eliminación de residuos orgánicos e inorgánicos y domésticos, ahorro de energía y agua, actitudes, acciones y comportamiento proambientalista, va más allá de los análisis univariantes.

La técnica de análisis de correspondencias múltiples es una herramienta que permite la caracterización del perfil del ciudadano con respecto a su comportamiento ambiental, específicamente mediante el uso de instrumento de medición mediante la Encuesta Nacional Multipropósito de información de hogares del 2018, que no tiene escala tipo Likert pero que son de tipo cualitativa-dicotómica.

Mediante el análisis de datos obtenidos se formaron tres grupos proambientales en los ciudadanos de la provincia de Manabí, el primer grupo obtenido representa a la categoría alta en los grupos ambientalistas, consecuente tiene una conducta y una educación ambiental alta, el hogar realiza acciones proambientales de coste bajo, medio y alto, como reciclaje, ahorro de agua y energía en casa, conocimientos en temas ambientales y tener un comportamiento proambientalista alto en temas de capacitación, protestas, denuncias y reclamos a las autoridades en ser rigurosos en temas ambientales., el segundo grupo se puede describir como una categoría media, está caracterizado como ciudadanos que si conocen los problemas ambientales pero no lo interactúan para mejorar en temas ambientales, se preocupan por sus consecuencias y están dispuesto a cooperar con esfuerzo personal para mejorar la situación de su barrio o comunidad, el tercer grupo se encuentra en la categoría baja, queda caracterizado como ciudadanos que no conocen los problemas ambientales, que no se preocupan por sus consecuencias y no están dispuesto a cooperar con esfuerzo personal para mejorar la situación de su barrio o comunidad, en consecuente tiene una conducta y una educación ambiental baja, no realiza acciones proambientales de coste bajo, como reciclaje, ahorro de agua y energía en casa.

La caracterización obtenida a través de los resultados obtenidos, donde existen diferentes grupos de hogares de Manabí, relacionados al comportamiento ambiental en algunos hogares son realmente bajos, no tienen conocimientos en como clasificar y eliminar los residuos orgánicos y domésticos, otro grupo donde sí sabe cómo eliminar estos residuos realizando compost y separando los residuos a la hora de eliminarlos, otro grupo donde la importancia del medio ambiente no les importa, y otro grupo donde si toman iniciativas para mejorar el ambiente cercano a sus hogares

Esta investigación permitió mostrar la necesidad de los ciudadanos a reforzar las acciones proambientales específicamente mediante una actitud individual, así como profundizar los estudios en las zonas rurales, con investigaciones más específicas.

5. AGRADECIMIENTO

Se reconoce a la Secretaría de Educación Superior, Ciencia, Tecnología Innovación (SENECYT) como auspiciante del presente trabajo investigativo

6. REFERENCIAS

- Andersen, G. R., & Legal, E. G. (2017). Aplicación del análisis de componentes principales en la investigación de aguas de pozo para el consumo humano. *Población y Desarrollo*, (45), 38-52. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6319456>
- Büssing, AG, Thielking, A. & Menzel, S. (2019). Büssing, a. G., thielking, a., & menzel, s. (2019). Can a like save the planet? Comparing antecedents of and correlations between environmental liking on social media, money donation, and volunteering. *Frontiers in psychology*, 10, 1989. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.01989>
- Calero, J. L., Campelo, M., & Albán, J. J. (2016). Educación, derecho y gestión ambiental en el ecuador. *Didasc@lia: Didáctica Y Educación* ISSN 2224-2643, 7(3), 213-224. <http://revistas.ult.edu.cu/index.php/didascalía/article/view/505>
- Colesca, SE, Ciocoiu, CN, & Popescu, LM (2014). Determinants of the behavior of WEEE recycling in Romania: a diffuse approach. *International Journal of Environmental Research*. ISSN: 17356865, 8(2), 353-366. <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84897893487&partnerID=MN8TOARS>
- Cantos, J. G. M., & Arvelo, M. G. V. (2021). Realidad y expectativa sobre la construcción sostenible en Ecuador. *Revista San Gregorio*, 1(43), 197-209. <http://dx.doi.org/10.36097/rsan.v1i43.1116>
- Dornhoff, M., Sothmann, J. N., Fiebelkorn, F., & Menzel, S. (2019). Nature relatedness and environmental concern of young people in Ecuador and Germany. *Frontiers in psychology*, 10, 453. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.00453>
- González-Gaudiano, E. & Puente-Quintanilla, J. (2010). El perfil de la educación ambiental en América Latina y el Caribe: Un corte transversal en el marco del Decenio de la Educación para el Desarrollo Sustentable. *Pesquisa em educação ambiental*, 27-45. <https://doi.org/10.11606/issn.2177-580X.v5i1p27-45>
- Greenacre, M. J. (2008). *La Práctica del Análisis de Correspondencias*. Bilbao: Rubes Editorial.
- Hak, D., Nadaoka, K., & Le Phu, V. (2016). Socioeconomic conditions and perceptions of environmental risks in the Mekong delta, Vietnam. *Coastal Management*, 44(6), 585-605. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/08920753.2016.1233796>
- INEC 2018 Encuesta Nacional Multipropósito: <http://www.ecuadorencifras.gob.ec>
- Liu, X., He, Y., Fu, H., Chen, B., Wang, M. & Wang, Z. (2018). How environmental protection motivation influences residents' recycled water reuse behaviors: a case study in the city of Xi'an. *Water*, 10 (9), 1282. <https://doi.org/10.3390/w10091282>
- López-Gómez, R. R., & Bastida Izaguirre, D. (2018). La importancia de la educación ambiental no formal en el medio rural: el caso de Palo Alto, Jalisco. *Diálogos sobre educación. Temas actuales en investigación educativa*, 9(16), 00004. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S200721712018000100004&lng=es&tlng=es

- Papaoikonomou, K., Latinopoulos, D., Emmanouil, C. & Kungolos, A. (2020). A survey on the factors influencing the behavior of the recycling of waste electrical and electronic equipment in the municipality of Volos, Greece. *Environmental processes*, 7 (1), 321-339. <https://link.springer.com/article/10.1007/s40710-019-00399-2>
- Peña, R (2018): La educación ambiental, una estrategia adecuada para el desarrollo sostenible de las. Comunidades, *Revista DELOS Desarrollo Local Sostenible* n.31. <https://www.eumed.net/rev/delos/31/roberto-aguilera.html>
- Phuphisith, S., Kurisu, K. & Hanaki, K. (2020). A comparison of practices and influencing factors of pro-environmental behaviors in three Asian megacities: Bangkok, Tokyo and Seoul. *Cleaner Production Magazine*, 253, 119882. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119882>
- Pierini, V. I., Mazzeo, N., Cazenave, M., & Semmartin, M. (2021). Waste generation and pro-environmental behaviors at household level: A citizen science study in Buenos Aires (Argentina). *Resources, Conservation and Recycling*, 170, 105560. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105560>
- Santisteban, K. & Sumba, R. (2019). La cultura organizacional-ambiental y la educación en valores: reflexiones para la sostenibilidad en Manabí, Ecuador. *Revista Universidad y Sociedad*, 11(2), 331-334. Epub 02 de junio de 2019. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S221836202019000200331&lng=es&tlng=es
- Saifulina, N., Carballo-Penela, A., & Ruzo-Sanmartin, E. (2021). The antecedents of employees' voluntary proenvironmental behavior at work in developing countries: The role of employee affective commitment and organizational support. *Business Strategy & Development*. <https://doi.org/10.1002/bsd2.162>
- Sargisson, RJ & McLean, IG (2015). Link knowledge and action on sustainable living. *Sustainability: The Journal of Record*, 8 (3), 127-135 <https://doi.org/10.1089/SUS.2015.29003>
- Soares, J., Venâncio, C., Lopes, I., & Oliveira, M. (2021). Public views on plastic pollution: Knowledge, perceived impacts, and pro-environmental behaviours. *Journal of Hazardous Materials*, 412, 125227. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.125227>
- Sotoca, A., González, J., Fernández, S., Dominique, O., & Ruíz, M. (2013). Perfil del incendiario forestal español: aplicación del perfilamiento criminal inductivo. *Anuario de Psicología Jurídica*, 31-38 ISSN 1133-0740 <https://doi.org/10.5093/aj2013a6>
- Tello-Cifuentes J. & Díaz-Paz, P. (2021) Análisis de la contaminación ambiental usando técnicas de teledetección y análisis componentes principales, *Tecnológicas*, 24(50), e1710. <https://doi.org/10.22430/22565337.1710>
- Useche, L., Mendoza, O., Bravo, R., & Lapo, M. (2019). Estadística multivariante para la caracterización sectorial según la infraestructura de las viviendas en san Carlos del Zulia. *Revista Bases de la Ciencia*, 4(2), 73-90. https://doi.org/10.33936/rev_bas_de_la_ciencia.v4i2.1545

Contribución de autores

Autor	Contribución
Bryan Cruz	Preparación y exploración de los datos. Elaboración de los análisis estadísticos e interpretaciones y adaptación al área ambiental. Redacción del artículo
Lelly Useche	Revisión del proceso y desarrollo de toda la investigación. Revisión bibliográfica y la metodología de la investigación. Contribución de las mejoras en la redacción del artículo.

Citación sugerida: Cruz, B., Useche, L. (2021). Análisis de correspondencias múltiple para describir el comportamiento proambiental del ciudadano de Manabí-Ecuador para el año 2018. *Revista Bases de la Ciencia*, 6(2), 75-94. DOI: https://doi.org/10.33936/rev_bas_de_la_ciencia.v%vi%i.3109 Recuperado de: <https://revistas.utm.edu.ec/index.php/Basedelaciencia/article/view/3109>

ESTUDIO SOBRE LA APLICACIÓN DE QUITOSANO PARA LA CURA DE LESIONES Y HERIDAS DE LA PIEL

Irvin Gregorio Malavé Castellano^{1,2} Marinela Nazareth Colina Rincón^{3*}, Yohanna Fabiola Zerpa Caldera², Rosa Arelis Lobo de Márquez²

¹Universidad de Carabobo, Facultad de ciencias y Tecnología, Doctorado en Química Tecnológica, Departamento de Química, Ciudad Universitaria, Naguanagua, Estado Carabobo. Ecuador.

²Hospital. Dr. Adolfo Prince Lara Av. La paz frente al diario la costa Puerto Cabello, Edo. Carabobo, Venezuela.

³Empresa INNOVACIÓN AMBIENTAL QUITOSANO CA. AV. 4 San francisco No.29-25, Zulia, Venezuela.

*Autor para la correspondencia: colinamarinela@gmail.com

Recibido: 17-02-2020 / Aceptado: 09-06-2021 / Publicación: 30-08-2021

Editor Académico: Jorge Alberto Cañarte Alcivar

RESUMEN

En la presente investigación, se evaluó el quitosano aplicado en la piel. Se estudiaron sus bondades terapéuticas cicatrizantes en pacientes con lesiones y ulceraciones en la piel, agudas y crónicas, en un hospital público de la localidad de Puerto Cabello- Estado Carabobo, Venezuela. Se hizo una evaluación continua tomando en cuenta la gravedad de las lesiones. Se utilizó un material en presentación de apósito (composición acetato de D-glucosamina al 1%) y gel tópico, aplicado a una población de nueve pacientes para evaluar su porcentaje en efectividad, en un número de semanas, de acuerdo a patologías médicas variadas. También se estudió el quitosano (gel, apósito) frente a semanas de tratamiento, llegando a la resolución de las lesiones a un 98.9%, en una duración de 2 a 5 semanas, con 100% de cura de tejido cicatricial y un 98% de resolución completa, aplicando 60% de gel de quitosano y 40% quitosano en apósito.

Palabras Clave: Quitosano, Lesiones, Heridas de Piel.

STUDY ON THE APPLICATION OF QUITOSANO FOR THE CURE OF SKIN LESIONS AND WOUNDS

ABSTRACT

In the present investigation, the chitosan applied to the skin was evaluated. Its therapeutic benefits were studied in patients with acute and chronic skin lesions, in a public hospital in the town of Puerto Cabello- Carabobo State, Venezuela. A continuous evaluation was made taking into account the severity of the lesions, a dressing presentation material (1% D-glucosamine acetate composition) and topical gel were used. It was applied to a population of nine (9) patients to evaluate their percentage (%) of effectiveness, in several weeks, according to various medical pathologies, chitosan (gel, dressing) was also studied, compared to weeks of treatment, resolving the lesions 98.9%, in duration from 2 to 5 weeks, with 100% healing of scar tissue and 98% complete resolution, applying 60% chitosan gel and 40% chitosan in dressing.

KeyWords: Chitosan, Skin Lesions, and Wounds.



ESTUDO SOBRE A APLICAÇÃO DE QUITOSANO PARA A CURA DE LESÕES E FERIDAS DA PELE

RESUMO

Na presente pesquisa avaliou-se o quitosano aplicado na pele. Estudaram-se suas propriedades terapêuticas cicatrizantes em pacientes com lesões cutâneas agudas e crônicas, em um hospital público da cidade de Puerto Cabello- Estado de Carabobo, Venezuela. Realizou-se uma avaliação contínua levando em consideração a gravidade das lesões . Utilizou-se um preparo curativo (composição de acetato de D-glucosamina 1%) e gel tópico, aplicado a uma população de nove pacientes para avaliar sua porcentagem de eficácia, em número de semanas, de acordo com diversas patologias médicas. também foi estudada a apresentação do quitosano (gel, curativo), em relação às semanas de tratamento, verificando 98,9% de resolução das lesões, em um período de 2 a 5 semanas, com 100% de tecido cicatricial e 98% de resolução completa complicação de gel de quitosano 60% e curativos de quitosano 40%.

Palavras-chave: quitosano, lesões cutâneas e feridas.

1. INTRODUCCIÓN

En el interés del quitosano, un polímero natural biodegradable, no antigénico, no tóxico y biocompatible derivado de la quitina, se debe a los diversos efectos beneficiosos para la salud que incluyen actividades altamente antioxidantes y antimicrobianas. El quitosano tiene varias aplicaciones en la industria biomédica, por lo que se puede utilizar solo o combinado con otros polímeros como agente antimicrobiano. El quitosano se compone de D-glucosamina enlazada beta1-4 (unidad desacetilada) y N-acetil-D-glucosamina (unidad acetilada), que se distribuyen aleatoriamente dentro del polímero. Es un polímero catiónico natural, mientras que la mayoría de los polisacáridos son neutros o tienen carga aniónica. Esta propiedad del quitosano permite crear estructuras multicapa o complejos electrostáticos con otros polímeros sintéticos o naturales cargados negativamente. El quitosano también tiene numerosas actividades biológicas, tales como, propiedades antimicrobianas, antitumorales y antioxidantes. (Mohamed. E. A y Col., 2020).

El quitosano es obtenido por hidrólisis alcalina de la quitina, la cual es el segundo polisacárido más abundante en la naturaleza después de la celulosa. Ambos polisacáridos se diferencian principalmente por la solubilidad, la estructura y el grado de desacetilación. La quitina es completamente insoluble en ácidos orgánicos, mientras que el quitosano es completamente soluble en éstos; por esta razón el quitosano presenta mayor uso, debido a su fácil manipulación a diferencia de la quitina, en las últimas décadas, el quitosano se ha explorado como fuente de bioactivos y materiales. El quitosano es un biopolímero de polisacárido obtenido por desacetilación de quitina derivado de fuentes de quitina de origen natural que presenta policatiónicos, quelantes, y propiedades formadoras de película debido a la presencia de grupos funcionales amino e hidroxilo. (D. MubarakAli, F y Col., 2018).

Actualmente se produce quitosano a escala industrial y tiene muchas aplicaciones en la industria cosmética y alimenticia, también se utiliza como floculante en el tratamiento de aguas. El quitosano es un compuesto maleable de gran importancia para la creación de nuevos biomateriales. Debido a la variedad de grupos funcionales, aminos e hidroxilo, presentes en la cadena polimérica, el quitosano tiene numerosas posibilidades para realizar modificaciones químicas que le permitan mejorar el desempeño en ciertas aplicaciones. (Colina, M. y Col., 2013).

En cuanto a su aplicabilidad en medicina, en relación a sus efectos como biopolímero sobre bacterias y hongos en primer lugar se le atribuye, su capacidad quelante y la presencia de un grupo amino con carga positiva que pueda interactuar con los compuestos de carga opuesta y que están presentes en la superficie de los microorganismos, por su actividad sobre los hongos el quitosano suprime la esporulación y posterior producción de esporas (Ayala, V. 2015), teniendo gran impacto por ser de naturaleza policatiónica, ya que este en medio ácido anula las cargas de fosfolípidos presentes en

bacterias y hongos. Además, la naturaleza adhesiva del quitosano, por su carácter antifúngico y bactericida, y su permeabilidad al oxígeno, es una propiedad muy importante asociada con el tratamiento de lesiones en piel, facilitando la rápida re-epitelización y cicatrización de la lesión y la regeneración de los nervios dentro de una dermis vascular (Vowdem, P. y Col., 2017).

Los diversos enfoques del uso de quitosano y sus derivados en el estudio de bacterias, han dado lugar a diferentes métodos de síntesis. (D. MubarakAli, F y Col., 2018). Hasta ahora, la propiedad antimicrobiana del quitosano se ha mencionado contra *Staphylococcus aureus*, *E. coli* y *Actinobacillus actinomycetemcomitans*. (Colina, M. y Col., 2013).

1.1. Mecanismo de acción del quitosano con células procariotas:

A menudo, las bacterias necesitan sobrevivir incluso en los entornos más hostiles; por lo tanto, desarrollan una envoltura celular especializada que es selectivamente permeable y protege la célula. El efecto antimicrobiano del quitosano en las células bacterianas procariotas depende de las interacciones electrostáticas entre este polímero y los componentes cargados negativamente en la pared celular bacteriana (**Figura 1**).

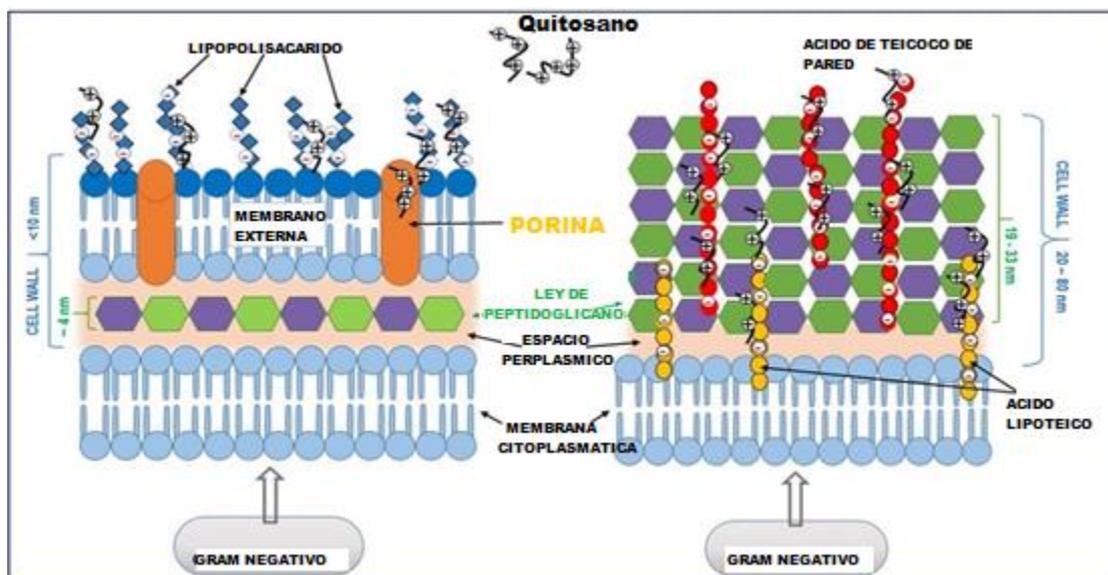


Figura 1. Interacciones propuestas entre el quitosano y la pared celular bacteriana. La interacción electrostática entre moléculas de quitosano con carga positiva y lipopolisacáridos (bacterias Gram negativas) y ácidos teicoicos (bacterias Gram negativas) con carga negativa puede provocar el bloqueo de los intercambios intra / extracelulares o incluso la rotura de la pared celular y, finalmente, la fuga de contenido citoplásmico.

Fuente: Mohamed. E. A y Col., 2020.

1.1.1. Interacción con bacterias grampositivas:

La diferencia entre las bacterias Grampositivas y Gramnegativas está en la estructura de su pared celular. Al referirse a las bacterias Gram positivas, la principal característica es la presencia de ácidos teicoicos, que pueden interactuar con las moléculas de quitosano. Los ácidos teicoicos son

glicopolímeros aniónicos ligados a la capa de peptidoglicano que, entre otras funciones, juegan un papel importante en la patogénesis, modulando la susceptibilidad a las moléculas catiónicas. Existen dos tipos de ácidos teicoicos: ácidos teicoicos de pared y ácido lipoteicoico, que están anclados en la membrana celular bacteriana. La resistencia de las bacterias Grampositivas a los agentes antimicrobianos es a través de los ácidos teicoicos y sus sustituyentes adjuntos que regulan la carga negativa de la célula bacteriana, lo que también previene la unión de moléculas extracelulares. Este también puede ser el mecanismo real a través del cual el quitosano interactúa con la pared celular de las bacterias Gram positivas. Al estar cargado positivamente, el quitosano puede interactuar con los ácidos teicoicos cargados negativamente, alterando la rigidez de la pared celular, interrumpiendo la membrana celular y eventualmente ingresando a la célula. Además, la presencia de ésteres de D-alanina unidos a ácidos teicoicos contribuye a la carga superficial bacteriana, y la reducción del contenido de D-alanilo en la pared celular confiere susceptibilidad a los antibióticos glicopéptidos y algunos péptidos antimicrobianos catiónicos. Los estudios revelaron que la ausencia de ésteres de D-alanilo puede aumentar la carga negativa de la superficie celular y facilitar la atracción de moléculas catiónicas, aumentando así la sensibilidad de la célula a tales antimicrobianos. (Matica, M y Col., 2019).

1.1.2. Interacción con bacterias gramnegativas

Las bacterias gramnegativas tienen una estructura de superficie celular más compleja que consta de una estructura de bicapa lipídica externa, la pared celular de peptidoglicano y la membrana plasmática. La bicapa lipídica externa es una característica distintiva de las bacterias Gramnegativas y su estructura contiene fosfolípidos en la capa interna y un solo tipo de glicolípidos, conocidos como lipopolisacáridos (LPS), en la capa externa. La capa externa es una barrera selectiva con dos características importantes: (1) la selectividad, proporcionada por las porinas, que son pequeños canales de proteínas que difunden ciertas moléculas hidrofílicas, y (2) la alta carga negativa, que es dada por las moléculas de LPS. La estructura del LPS consta del lípido A y el núcleo interno, que son los grupos cargados negativamente responsables de las interacciones con los polímeros catiónicos. El lípido A también puede ser un posible objetivo para neutralizar el efecto endotóxico del LPS. (Matica, M y Col., 2019).

1.2. Mecanismo de acción del quitosano con células Eucariotas

1.2.1. Interacción con células fúngicas

Como muestran muchos estudios, el quitosano puede inhibir el crecimiento de células bacterianas e incluso matarlas, pero con respecto a las células de levadura, solo altas concentraciones de quitosano pueden tener un efecto antifúngico e inhibir el crecimiento de las células de levadura. Dado que la

naturaleza catiónica del quitosano es el resultado de la presencia de grupos amino reactivos en su estructura, si estos grupos se bloquean, la actividad antimicótica se reducirá drásticamente. La pared celular fúngica es una estructura única, y sus componentes son glicoproteínas y polisacáridos, principalmente glucano y quitina. Estas estructuras están fuertemente reticuladas para formar un conjunto resistente que protegerá a la célula fúngica del estrés ambiental, pero al mismo tiempo permitirá que la célula fúngica interactúe con su entorno. (Matica, M y Col., 2019).

Cada componente de la pared celular es responsable de garantizar la integridad celular. Por ejemplo, si se altera la síntesis de quitina, la pared celular fúngica se vuelve osmóticamente inestable y se deforma. La síntesis de β -1, 3-glucano es necesaria para el desarrollo normal de las paredes celulares de los hongos, y las glicoproteínas son responsables de mantener la forma celular, la transmisión de señales intracelulares, sintetizar otros componentes de la pared celular y facilitar la absorción de moléculas, pero al mismo tiempo. tiempo protegiendo la célula contra sustancias extrañas. (Mohamed. E. A y Col., 2020).

1.2.2. Actividad Antifúngica del quitosano

El quitosano tiene actividad antifúngica contra mohos y levaduras, tales como *Fusarium oxysporum*, *Botrytis cinerea*, *Rhizoctonia solani*, *Candida lambica*, *Phomopsis asparagi*. Estas propiedades podrían considerarse fungistáticas en mayor medida que los fungicidas, la germinación de esporas, la inhibición del crecimiento y el alargamiento del tubo. El mecanismo de acción depende de la estructura de la pared celular, que interfiere directamente con el crecimiento. También se espera que el quitosano funcione más rápidamente en hongos que en bacterias. Se ilustra el mecanismo antifúngico propuesto del quitosano. (Mohamed. E. A y Col., 2020).

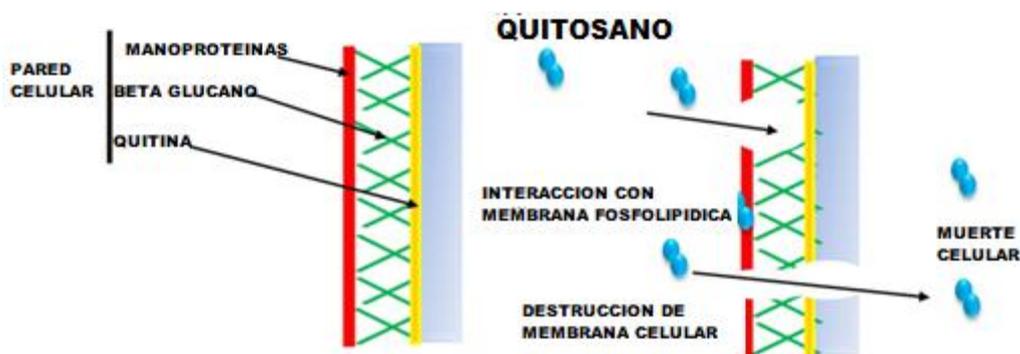


Figura 2: Mecanismo propuesto de actividad antifúngica del quitosano sobre hongos

Fuente: Mohamed. E. A y Col., 2020.

Siguiendo en este orden de ideas cuando un tejido humano se lesiona no es capaz de regenerarse *ad integrum*, la reparación de los tejidos dañados se realiza mediante una serie de procesos fisiológicos que resulta de un nuevo tejido llamado cicatriz, la utilización de productos tópicos o sistémico

permiten un resultado satisfactorio que de manera oportuna ataque las bacterias y hongos presentes en la lesión, evitando a su vez la proliferación de estos. (Fernández. I y Col., 2006).

Las heridas son lesiones normalmente sangrantes, se producen en los tejidos exteriores del cuerpo como consecuencia de un corte, un disparo, una presión, un roce, siendo clasificadas dependiendo del tipo de heridas que existan y las condiciones propias del individuo. La curación de las heridas a menudo se ve afectada por la proliferación bacteriana y la producción de exudados que causa la maceración de las capas de la piel sana (Vigani y Col., 2019, Agrawal, P y Col., 2014). Por otra parte, muchos factores como el tabaquismo, la obesidad, la vejez y la desnutrición pueden promover el desarrollo de la piel crónica, dañar y perjudicar los procesos de curación (Pereira, R.F y Col., 2013). No obstante, el cuidado de las heridas representa un alto costo para la salud total y presupuesto de atención (Lindholm, C y Col., 2016). Se ha demostrado que entre ellas (heridas), las úlceras por presión aumentan la duración de la estancia hospitalaria y las enfermedades asociadas incluyendo los costos hospitalarios. Estos costos están dominados principalmente por el tiempo del profesional de la salud y para las úlceras más graves, por la incidencia de complicaciones, incluido el ingreso hospitalario / duración de la estancia. En heridas avanzadas, los apósitos tienen costos prohibitivos para el sistema de salud pública debido a su impacto económico, representando un serio problema, especialmente en hospitales públicos (Dealey, C y Col., 2012).

Por esto, el quitosano surge como una alternativa terapéutica debido a sus propiedades de acelerar el proceso de curación y su mecanismo de acción en hongos y bacterias, ya que es bien conocido como un polisacárido natural que se compone de unidades de glucosamina unidas por un enlace glucosídico 1-4 a las unidades de N-acetil glucosamina (Tomihata, K. y Cols. (1997). Debido a sus características de biodegradabilidad, biocompatibilidad y seguridad antes mencionada, el (CHI) ha atraído un considerable interés por las aplicaciones biológicas, claramente descritos en las guías estándar de American Standard Standard Materials (ASTM) y en las farmacopeas de varios países (ASTM, Standard Guide F 2103-01; 2001).

En virtud de esto, es necesaria la implementación de alternativas para la cura de heridas a través de diversos materiales de origen biológico. Sabiendo que el quitosano inhibe el crecimiento de una amplia variedad de bacterias, según sus características químicas. La concentración de quitosano es una propiedad química de gran importancia para su actividad antibacteriana. Se ha demostrado que soluciones de quitosano hasta la concentración de $0.10 \text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ inhiben marcadamente el crecimiento de la bacteria patogénica *Xanthomonas axonopodis* pv. *poinsettii* aislada de *Euphorbia pulcherrima*, a medida que se aumenta la concentración mayor será el efecto inhibitorio de la misma. (A.T. Rodríguez, O y Col., 2009).

Tomando en cuenta complicaciones médicas en determinados pacientes como infecciones u otros factores que deben ser observados durante abordaje inicial ofreciendo de este modo productos que permitan restaurar los tejidos, cubriendo las necesidades de forma integral en cuanto a organismo frecuentes que se puedan presentar, conocer las bondades del mismo, permite obtener seguridad para el clínico y el paciente al recibir un tratamiento además minimizar los riesgos y costos que estas acarrearán a los centros de salud pública, es así que dada las propiedades del quitosano se realizó un estudio clínico donde se aplicó el quitosano y se evaluó la efectividad del mismo en heridas de pacientes del hospital Dr. Adolfo Prince Lara, Puerto Cabello, Estado Carabobo. Venezuela.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El gel y las películas se obtuvieron de la Empresa Innovación Ambiental Quitosano C.A de Maracaibo, Venezuela (Venpiel Gel y Venpiel Aposito©) que se obtuvo de quitina extraída de exoesqueletos de cangrejos, con deproteinización alcalina y desmineralización con ácido clorhídrico, los cuales se caracterizaron por espectrofotometría infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) que proporcionó las bandas correspondientes al quitosano. El quitosano utilizado tiene un porcentaje de desacetilación en el rango de 83.2 -89.8% y una masa molar viscosimétrica en el rango de 332.9 - 595.6 KDa, que se consideran altos. El gel se obtuvo mezclando hojuelas de quitosano con 10 mL de ácido acético al 99,9% y 100 ml de H₂O desionizada, mezclando en licuadora hasta que se formó un gel transparente y viscoso: gel de quitosano 10.000 mg / L en ácido acético al 1%. Se esterilizó en autoclave y se mantuvo en la nevera hasta su aplicación. Los apósitos se prepararon con 200 ml de gel de quitosano preparado a 10.000 mg / L en un recipiente de plástico redondo, dejándolo secar al aire y luego esterilizado y empaquetado hasta su uso.

En cuanto al estudio estuvo constituido por 9 pacientes, de diversos servicios del hospital Dr. Adolfo Prince Lara de Puerto Cabello, Estado Carabobo, Venezuela, en todos los casos, se obtuvo el consentimiento informado por escrito y llenado de historia médica, validada por expertos en el área, con los ítems de: Nombres, Apellidos, Edad, Teléfono y dirección, además de los antecedentes personales, Diagnóstico y característica de la lesión y se cuestionó la existencia de una alergia a los crustáceos; A todos los pacientes se le realizó asepsia y antisepsia correspondiente previo a la aplicación del tratamiento, para el caso del gel se le aplicó tres veces al día, durante 2 a 5 semanas dependiendo el caso y para la aplicación del apósito cada 72 horas sin remover de la lesión de 2 a 5 semanas dependiendo el caso de estudio.

3. RESULTADOS SERIE DE CASOS

Caso 1: Paciente masculino de 33 años, sin comorbilidades previas, con trauma en 1/3 distal de tibia y peroné derecha con fractura según clasificación de Gustillo Anderson GA III B por herida de proyectil por arma de fuego (HPPAF) de aproximadamente 10 x 7 cm de longitud y 4 de profundidad. Bordes irregulares, superficie rugosa secreción serosanguinolenta no fétida al momento del abordaje médico no recibe tratamiento en espera de mejoría de lesiones en piel (**Figura 3**).



Día 1: Aplicación de quitosano en apósito, en una herida con 10 X 7 cm de longitud y 4 cm de profundidad.

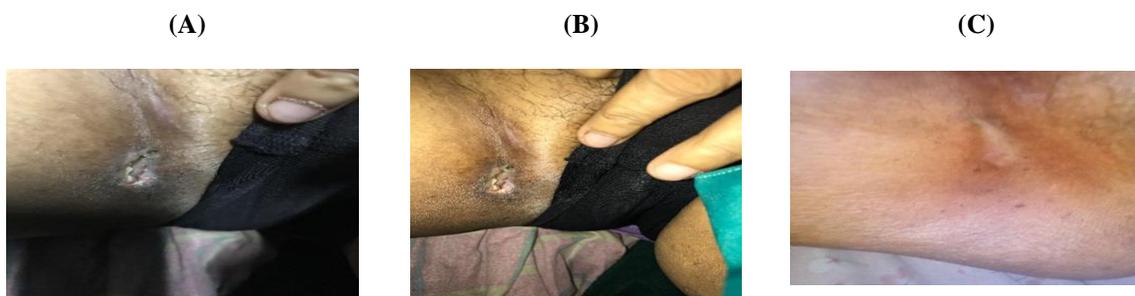
Día 27: Aplicación de quitosano en apósito, teniendo curación de un 80% en la herida, con 4 x 2 cm de longitud y sin profundidad.

Día 36: Curación de la herida de un 100%, llegando a tejido cicatricial.

Figura 3: Seguimiento de la herida (A, B, C), llegando a tejido cicatricial, con una curación de 100%, con la aplicación de quitosano en apósito, cada 72 horas, durante 36 días. Al momento del abordaje médico no recibe tratamiento, se instaura la administración de Quitosano parche cada 72 horas, con limpieza de herida con solución 0.9%, se realiza por personal médico, antibiótico (Cefalosporina) de 1era generación, (cefazolina) intravenoso por 4 días, luego (Cefalexina), vía oral por 3 días, analgésico por 5 días.

Fuente: Elaboración propia.

Caso 2: Paciente femenino de 45 años, con antecedente de Diabetes Mellitus tipo 2, complicaciones crónicas de la diabetes, Neuropatía, Vasculopatía sin tratamiento desde hace 6 meses con lesión tipo úlcera en región inguinal derecha 2 x 3 cm de longitud, con 2 cm de profundidad, con bordes irregulares, con secreción purulenta, 20 días de evolución. Este tipo de lesiones se describen como lesión por humedad (LPH): dermatitis intertriginosa en región inguinal derecha (Escala de Braden: categoría 2^a), sin tratamiento al momento de la evaluación (**Figura 4**).



Día 1: Aplicación de quitosano en gel, cada 8 horas al día, en úlcera de 2 x 3 cm de Longitud y 2 cm de profundidad.

Día 7: Aplicación de quitosano en gel, cada 12 horas, la úlcera para esta fecha se encuentra en 1 x 2 cm de longitud y sin profundidad.

Día 15: Curación completa de la úlcera en un 100%, con el uso de quitosano en gel.

Figura 4: Seguimiento de la úlcera. (A, B, C), llegando a resolución completa en 15 días, con el uso de quitosano en gel, cada 8 horas en los primeros 7 días, luego debido a su evolución se le aplico durante cada 12 horas hasta el día 15. sin tratamiento al momento de la evaluación se instaura medicación con quitosano gel, antibiotioterapia cefalosporina de 1era generación (cefazolina) intravenosa por 4 días luego vía oral (cefalexina) por 3 días. limpieza diaria de úlcera con

solución 0,9% realizada por personal médico, comorbilidades diabetes mellitus tipo 2 controlada con biguanida: metformina neuropatía, vasculopatía se reinicia tratamiento neuropático y vascular.

Fuente: Elaboración propia.

Caso 3: Paciente masculino de 33 años, sin comorbilidades previas, diagnostico erisipela en miembro izquierdo, lesión eritematosa de longitud 20 x 10 cm., con bordes sobre elevados, definidos, doloroso a la palpación, hipertérmica al tacto, 3 ampollas 2x2 cm, 1x1 cm, y 3x 2 cm. De longitud, sin profundidad, xerosis al borde de la lesión, 15 días de evolución, recibió tratamiento médico no especifica, una semana previa al ingreso, sin mejoría al momento de la evaluación no recibe tratamiento (**Figura 5**).



Día 1: Aplicación de quitosano en gel, en erisipela de tres ampollas de la siguiente longitud:

Ampolla 1) 2 x2 cm.

Ampolla 2) 1 x 1 cm.

Ampolla 3) 3 x 2 cm.

Día 23: Evolución satisfactoria de un 80% en la erisipela de tres ampollas con la aplicación de quitosano en gel, donde las ampollas para esta fecha.

Ampolla 1) 1 x2 cm.

Ampolla 2) resuelta.

Ampolla 3) 1 x 1 cm.

Curación de un 80%

Día 29: Curación completa de la erisipela, con la aplicación de quitosano en gel.

Figura 5: Seguimiento de la Erisipela. (A, B, C), llegando a curación completa en 29 días, con el uso de quitosano en gel. Al momento de la evaluación no recibe tratamiento, se administra vía tópica quitosano gel cada 8 horas, durante 29 días con limpieza de lesión realizada por personal médico con solución 0,9%, recibe antibiótico (oxacilina) por 7 días.

Fuente: Elaboración propia.

Caso 4: Paciente masculino 63 años, antecedentes de diabetes mellitus tipo 2 complicaciones crónicas neuropatía con úlcera diabética con herida por objeto cortante en la región posterior, 1/3 inferior de pierna derecha, 6 x 4 cm de longitud, 2cm de profundidad, bordes irregulares, rugosa secreción serosa escasa. (**Figura 6**).



Día 1: Aplicación de quitosano en apósito, en una herida de 6 x 4 cm de longitud y 2 cm de profundidad.

Día 12: aplicación de quitosano en apósito, la herida para el día 12 ya la herida es de 4 x 2 cm de longitud y sin profundidad, con un 80% de Curación.

Día 27: Curación de un 100%, llegando a tejido cicatricial, con la aplicación de quitosano en apósito.

Figura 6. Seguimiento de la Herida. (A, B, C), llegando a resolución completa en 27 días, con el uso de quitosano en apósito cada 72 horas. Recibe quitosano y limpieza de herida, realizada por personal médico, además de antibiótico (Ampicilina) por 7 días, diabetes mellitus en tratamiento con sulfonilurea: glibenclamida, neuropatía tratada con pregabalina.

Fuente: Elaboración propia.

Caso 5: Paciente de 30 años, sin comorbilidades previas, presentes posteriores al uso de la presencia de forma brusca lesión en región facial derecha con eritema de 10 x 7 cm., bordes irregulares, superficie plana no dolorosa pruriginosa de 10 días de evolución, no recibe tratamiento médico al momento de la evaluación (**Figura 7**).



Día 1: Aplicación de quitosano en gel una vez al día, antes de dormir, luego de haber limpiado la región facial afectada.

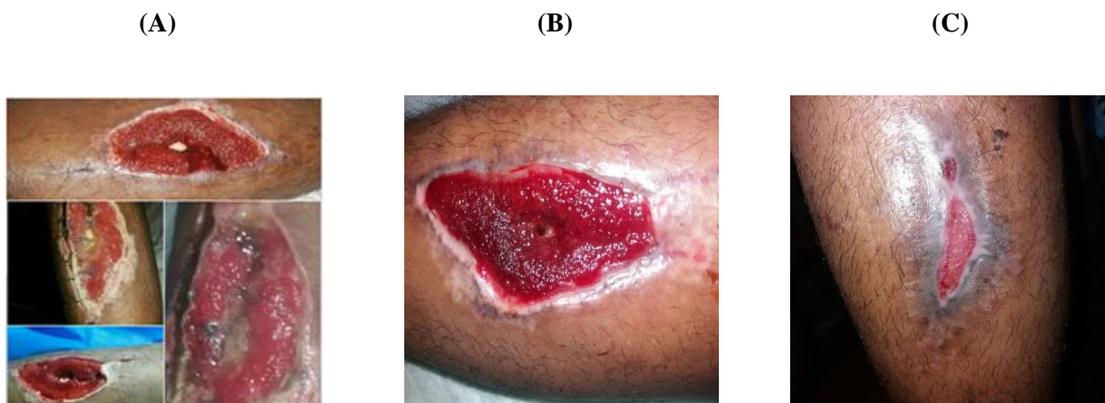
Día 7: resolución parcial, con más de 80% de mejora, con la aplicación de quitosano en gel, durante una vez al día.

Día 19: Curación completa de 100%, con la aplicación de quitosano en gel.

Figura 7: Seguimiento de la Región facial. (A, B, C), llegando a curación completa en 19 días, con el uso de quitosano en gel, con una aplicación diaria antes de dormir, luego de haber limpiado correctamente la región facial.

Fuente: Elaboración propia.

Caso 6: Paciente de 26 años, sin comorbilidades previas con lesión en 1/3 medio de pierna izquierdo, 8 x 4 cm de longitud y 2 cm de profundidad, bordes definidos, rugosa secreción serosanguinolenta no fétida (**Figura 8**).



Día 1: Aplicación de quitosano en apósito, con una herida de 8 x 4 cm de longitud y 2 cm de profundidad.

Día 12: Aplicación de quitosano en apósito, con disminución de herida a 6 x 3 cm de longitud y 1 cm de profundidad, hasta la fecha mostrando un 75 % de resolución clínica.

Día 29: Aplicación de quitosano en gel, curación de 100% con tejido cicatricial.

Figura 8: Seguimiento de la herida. (A, B, C), llegando a resolución completa en 29 días, inicio con el uso de quitosano en apósito cada 72 horas, luego recibió quitosano en gel cada 8 horas, con la intención de que el tejido cicatricial mejore aún más estéticamente, antibiótico quinolona (ciprofloxacina) por 7 días, analgésico por 3 días. limpieza de herida realizada por personal medico

Fuente: Elaboración propia.

Caso 7: Paciente masculino 10 años, quien presenta quemadura de 2do grado en miembro superior derecho lesiones en nro. 2, de 6 x 5 cm, 7 x 9 cm con ampollas, posteriormente tejido evoluciona a formación de fibrina con descarga seropurulenta escasa, bordes irregulares eritema, se inicia tratamiento 2 días después del evento (**Figura 9**).



Día 1: Aplicación de quitosano en gel cada 8 horas en quemaduras de dos ampollas, una de 6 x 5 cm y la otra de 7 x 9 cm de longitud respectivamente.

Día 5: Aplicación de quitosano en gel cada 12 horas, con curación de un 80%, clínicamente sin profundidad, formando fibrina.

Día 13: Curación de 100% al día 13, quedando tejido cicatricial.

Figura 9: Seguimiento de la herida (A, B, C), llegando a tejido cicatricial, con una resolución de 100%. con la aplicación de quitosano en gel, cada 8 horas, posteriormente el día 5 cada 12 horas, durante 13 días, además de antibiótico (Ampicilina) por 5 días.

Fuente: Elaboración propia.

Caso 8: Paciente masculino 67 años con antecedente Hipertension arterial sistémica, presenta lesión eritematosa de 20 X 10 cm elevados, hipertérmica, dolorosa con áreas de hiperqueratosis, signos de lipodermatoesclerosis, onicomycosis en primer dedo de pie izquierdo (**Figura 10**).



Día 1: Aplicación de quitosano en gel, cada 8 horas, en lesión de 20 x 10 cm de longitud.

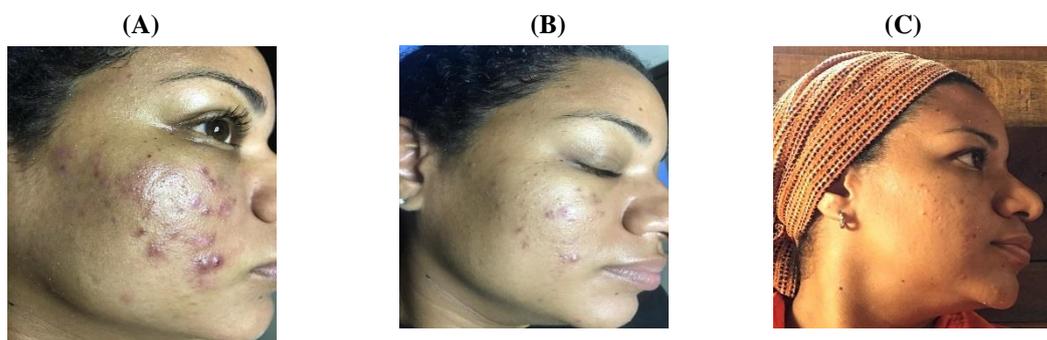
Día 4: Aplicación de quitosano en gel, cada 12 horas, en lesión parcialmente curada.

Día 14: Curación 100%, quedando tejido cicatricial.

Figura 10: Seguimiento de la herida (A, B, C), llegando a tejido cicatricial, con una resolución de 100%. con la aplicación de quitosano en gel, cada 8 horas, posteriormente el día 4 cada 12 horas, durante 14 días. Ampicilina por 7 días: hipertensión arterial. en tratamiento con IECA: enalapril Antimicrobico vía oral.

Fuente: Elaboración propia.

Caso 9: Paciente femenina de 33 años, con antecedente de acné moderado desde la adolescencia por lo que ha recibido tratamiento médico de forma intermitente sin mejoría clínica, actualmente presenta agudización de lesiones en piel es evaluada observando en región facial derecha lesiones eritematosas pleomorfa, con presencia de pápulas, pústulas no dolorosas, pruriginosas sin tratamiento actual (**Figura 11**).



Día 1: Aplicación de quitosano en gel cada 8 horas en región facial donde se presencia el acné.

Día 5: Aplicación de quitosano en gel cada 12 horas en región facial, con una región clínica de un 80% de acné.

Día 14: Aplicación de gel de quitosano, parcialmente recuperada., 90% curada.

Figura 11: Seguimiento de la Región facial. (A, B, C), llegando a resolución parcial en 14 días, con la aplicación de quitosano en gel, luego de haber limpiado correctamente la región facial. Se realizo limpieza facial en una oportunidad manteniendo tratamiento diario con quitosano gel cada 8 horas por 5 días, luego cada 12 horas por 9 días.

Fuente: Elaboración propia.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La piel desempeña innumerables funciones como protección, termoregulación, reactividad inmunitaria, bioquímica, detección sensorial. La estrategia para corregir la disfunción de cualquiera de estas actividades puede basarse en el uso de agentes químicos, biológicos. Por la importancia que representa la piel, se han implementado diferentes alternativas terapéuticas para su curación a través de la farmacología dermatológica mediante el acceso directo como órgano destino en el que se concentra el diagnóstico y tratamiento, tomando en consideración la magnitud del problema es importante lograr la reparación de la lesión en el menor tiempo posible y reducir las secuelas. La **Tabla 1** muestra el área de la lesión (previo al tratamiento y después del quitosano) y cuanto (en porcentaje) se ha resuelto.

El quitosano es biocompatible, biodegradable, no tóxico, antimicrobiano, hemostático e hidratante. Este se despolimerizará gradualmente para liberar N-acetil-D-glucosamina, que inicia la proliferación de fibroblastos y ayuda a la deposición ordenada de colágeno y estimula un mayor nivel de síntesis natural de ácido hialurónico en el sitio de la herida. Por esta relación es recomendable utilizarlo en tratamiento tópico como fármaco en enfermedades de la piel. Entre otros hallazgos observados como beneficiosos, se encuentra los derivan de la variación anatómica de la piel, debido a que la permeabilidad suele ser inversamente proporcional al espesor del estrato dérmico siendo la penetración de un fármaco mayor en la cara, y la zona intertriginosa. Es por ello por lo que la piel en tales regiones puede ser más susceptible a sustancias irritantes y a las reacciones alérgicas por contacto observando durante nuestro estudio los beneficios con tratamientos estéticos, y con lesiones por humedad (**Figuras 4,7,11) Tabla 1.**

Tabla 1: Porcentaje de curación de la herida de diferentes tamaños con la aplicación de quitosano

Caso	Diagnostico	Área de lesión antes del Tratamiento	Semanas de tratamiento (semanas)	Área de lesión después del tratamiento	Cura del área de la lesión en (%)
1	Fractura según clasificación de Gustillo Anderson GA III B x herida de proyectil por arma de fuego (HPPAF)	Lesión de 10 X 7 cm de longitud y 4 cm de profundidad.	5	Tejido Cicatricial	100
2	Lesión por humedad (LPH): dermatitis intertriginosa en región inguinal derecha (Escala de Braden: categoría 2 ^a)	Lesión 2 x 3 cm de longitud y 2 cm de profundidad	2	Resolución completa	100
3	Erisipela en miembro inferior izquierdo	Lesión tipo erisipela de: Ampolla 1) 2 x 2 cm. Ampolla 2) 1 x 1 cm. Ampolla 3) 3 x 2 cm.	4	Resolución completa	100

4	Herida por objeto cortante en la región posterior, 1/3 inferior de pierna derecha	Herida de 6 x 4 cm de longitud y 2 cm de profundidad.	4	Tejido Cicatricial	100
5	Dermatitis por contacto	Dermatitis de 10 x 7 cm de longitud en región facial.	3	Resolución completa	100
6	Traumatismo en miembro inferior izquierdo.	Herida de 8 x 4 cm de longitud y 2 cm de profundidad.	4	Tejido Cicatricial	100
7	quemadura de 2do grado en miembro superior derecho	Quemadura de 2do grado de: Ampolla 1) 6 x 5 cm Ampolla 2) 7 x 9 cm.	2	Tejido Cicatricial	100
8	Erisipela en miembro inferior izquierda con comorbilidades	Lesión tipo erisipela de 20 x 10 cm de longitud	2	Tejido Cicatricial	100
9	Acné moderado	Lesión por acné en todo el rostro	2	Resolución parcial	90
Σ		Promedio de resolución		Promedio de resolución	98,9

Fuente: Elaboración propia.

El quitosano por ser de naturaleza policatiónica en medio ácido anula las cargas de fosfolípidos presentes en bacterias y hongos. Debido a esta característica se puede limitar o controlar la progresión de las lesiones en piel, Además, la naturaleza adhesiva del quitosano, con su carácter antifúngico y bactericida, y su permeabilidad al oxígeno, es una propiedad muy importante asociada con el tratamiento de heridas. Lo cual se observa en la cura de los pacientes diabéticos especialmente (Figuras 4-6) en las lesiones ulceradas. Además, facilita la rápida re-epitelización de la herida dentro de una dermis vascular.

En los pacientes donde se aplicó en forma de película o gel de quitosano seco, se encontró una reducción de 98,9% de la lesión comparando antes y después del tratamiento obteniendo como resultado tejido cicatricial en más de un 95%, **Tabla 1**, además de la resolución en cuanto a duración en relación con las semanas de tratamiento, diagnóstico oscilando entre 2 a 5 semanas **Tabla 1**.

Otra variable observada durante la evaluación de estos pacientes fue que en jóvenes se presentó durante la primera semana una resolución mayor al 60% a diferencia de edad avanzada, que su evolución fue más lenta pudiendo atribuirles a factores como carencias nutricionales tomando en cuenta que la epidermis tiene un elevado requerimiento nutritivo y por eso es más sensible a la deficiencia del sustrato.

5. CONCLUSIONES

Por lo antes expuesto podemos concluir que el quitosano es una alternativa farmacológica que posee beneficios en el proceso de cicatrización o mejoría de lesiones y úlceras de la piel, con importantes resultados en pacientes jóvenes entre ellos eficacia, rapidez durante resolución de las lesiones

No sé observo complicación, como procesos infecciosos, consideramos sus propiedades contra bacterias y hongos en primer lugar su capacidad quelante y presencia de grupo amino con carga positivas que interactúa con los compuestos de carga opuesta y sobre los hongos que suprime la esporulación y posterior producción de esporas. Además, beneficios en algunos diagnósticos tomando en cuenta su permeabilidad en algunas zonas anatómicas, no se observaron efectos adversos en la aplicación del quitosano.

6. RECOMENDACIONES

- Ampliar información a través de estudios de investigación en pacientes con inmunodeficiencias, neoplasias, conectivopatías.
- Estudios relacionados al alcance bacteriológico del quitosano.
- Debido a factores, entre ellos nutricionales que presentan un gran número de pacientes en la práctica clínica, incluir agentes con efectos sobre la piel como la vitamina A y C, siendo la vitamina A quien regula la queratinización y su deficiencia ocasiona hiperqueratosis y descamación, la vitamina C es necesaria para el metabolismo normal del colágeno y su deficiencia provoca alteración en la cicatrización de heridas.
- Otros agentes para considerar son los queratolíticos utilizados para las hiperqueratosis útiles para la dermatosis sé observo beneficio del quitosano en pacientes con erisipela evaluados en este estudio quienes presentaban xerosis siendo está una causa importante que se debe combatir recomendamos dichos agentes para mejorar su acción.
- Debido a que el colágeno es importante y su presencia en el proceso de regeneración, se recomienda realizar estudios de uso de quitosano más colágeno como fusión, aprovechando los diversos desechos biológicos para la mejora más efectiva en heridas de diversos pacientes.
- Realizar estudios comparativos con el uso de quitosano y plasma rico en plaquetas como agentes regeneradoras de tejidos y propiedades cicatrizantes.
- Ampliar conocimiento y efectividad de la actividad antimicrobiana del quitosano, mediante estudios de pacientes que reciban antibioticoterapia comparados con quienes reciban quitosano como terapia única para la resolución de infecciones en casos clínicos.

7. RESPONSABILIDADES ÉTICAS

Protección de personas y animales. Los autores declaran que para esta investigación no se han realizado experimentos en seres humanos ni en animales.

Confidencialidad de los datos. Los autores declaran que en este artículo no aparecen datos de pacientes.

Conflicto de Intereses: Ninguno.

8. REFERENCIAS

- Anthosen, M.; Varum, K.; Smidsrod, O. (1993). Solution of chitosans: conformation and chain stiffness of chitosan with different degrees of N-acetylation. *Carbohydrate polymers* 22: 193-201.
- Agrawal, P.; Soni, S.; Mittla, G.; Bhatnagar, A. (2014). Role of polymeric biomaterials as wound healing agents. *Int. J. Low Estrem. Wonds*, 2014, 13, 18-190 [CrossRef] [PubMed]
- Aranaz, I.; Mengibar, M.; Harris, R.; Panos, I.; Miralles, B.; (2009). Functional Characterization of Chitin and Chitosan. *Current Chemical Biology*: 3 (2): 203-230.
- ASTM, Standard Guide F 2103-01; 2001.
- A.T. Rodríguez-Pedroso.; M. A. Ramírez-Arrebató.; D. Rivero-González.; E. Bosquez-Molina.; L. L. Barrera-Necha.; S. Bautista-Baños; (2009). Propiedades químico-estructurales y actividad biológica de la quitosana en microorganismos fitopatógenos. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 15(3): 307-317.
- Ayala Valencia German, (2015). Efecto Antimicrobiano del quitosano: una revisión de la literatura. *Scientia Agoalimentaria*. ISSN:2339-4684, Vol.2. 32-38.
- Colina, M.;Valbuena, C.; Puentes, N.; Valbuena, AM; (2013).Determinación de las propiedades antibacterianas de quitosanos con diferentes grados de desacetilación contra bacterias gram-positivas y gram-negativas. *Zulia, Venezuela*.
- D. MubarakAli, F.; LewisOscar, V.; Gopinath, Naify S.; Alharbi, Sulaiman Ali Alharbi, N. Thajuddin. (2017). An inhibitory action of chitosan nanoparticles against pathogenic bacteria and fungi and their potential applications as biocompatible antioxidants. *S0882-4010(17)31443-2*. DOI: 10.1016/j.micpath.2017.11.043. [CrossRef] [PubMed].
- Dealey, C.; Posnett, J.; Walker, A. (2012). The cost of pressure ulcers in the United Kingdom. *J. Wound Care*, 6, 261–264. [CrossRef] [PubMed]
- Lindholm, C.; Searle, R. (2016). Wound management for the 21st century: Combining effectiveness and efficiency. *Int. Wound J*, 13, 5–15. [CrossRef] [PubMed]
- Matica Mariana Adina.; Finn Lillelund Achmann.; Tøndervik Anne.; Håvard Sletta and Vasile Ostafe. (2019). Chitosan as a Wound Dressing Starting Material: Antimicrobial Properties and Mode of Action. *Int. J. Mol. Sci.* 2019, 20, 5889; doi:10.3390/ijms20235889.
- Mohamed E. Abd El-Hack a.; Mohamed T. El-Saadony b.; Manal E. Shafi c.; Nidal M. Zabermawi d.; Muhammad Arif e.; Gaber Elsaber Batiha f,g .; Asmaa F. Khafaga h .;Yasmina M. Abd El-Hakim i .; Adham A. Al-Sagheer, (2020). Antimicrobial and antioxidant properties of chitosan and its derivatives and their applications: A review. [CrossRef] [PubMed] <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.08.153>.
- Mukoma, P.; Jooste, By Vosloo, H. (2004). “Synthesis and characterization of cross- linked chitosan membranes for application as alternative proton exchange membrane materials in fuel cells”. *Journal of Power Sources*136: 16-23.
- Pereira, R.F.; Barrias, C.C.; Granja, P.L.; Bartolo, P.J. (2013) Advanced biofabrication strategies for skin regeneration and repair. *Nanomedicine*, 8, 603–621. [CrossRef] [PubMed]
- Pontilla, B. (2010). Importancia industrial de la Quitina. *Bioquímica*. Facultad de Ingeniería. USCO. Aparece en internet: <http://eduardo-pastrana.blogspot.com/> Fecha de recuperación 24-04-2010.
- Sashiwa, H y Sei-ichi, A. (2004). Chemically modified chitin and chitosan as biomaterials. *Progress in Polymer Science* 29 :887–908.
- Tresguerres Hernández-Gil Isabel Fernández, Alobera Gracia Miguel Angel, Pingarrón Mariano del Canto, Blanco Jerez Luis. (2005). Bases fisiológicas de la regeneración ósea I. *Histología y fisiología del tejido óseo*. *Histology and physiology of bone tissue*. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal* 2006;11: E47-51.
- Vigani Bárbara.; Rossi Silvia.; Giuseppina Sandri.; Bonferoni Maria Cristina.; Caramella Carla Marcella & Ferrari Franca. (2019). Hyaluronic acid and chitosan-based nanosystems: a new dressing generation for wound care. *Expert Opinion on Drug Delivery*, 16:7, 715-740, DOI: 10.1080/17425247.2019.1634051.
- Vowdem, P., Martello Gabrett.; Rosell gill. (2017). Antisépticos y heridas crónicas. Ciudad de México. México. DOI: 10.130-174210227.2017.16012. [CrossRef] [PubMed].

Contribución de autores

Autor	Contribución
Irvin Gregorio Malavé Castellano	Redacción del artículo, adquisición de datos, construcción de historias médicas, construcción de consentimiento informado, concepción y diseño, análisis e interpretación, metodología, búsqueda bibliográfica, búsqueda de información, construcción de tablas.
Marinela Nazareth Colina Rincón	Profesor Tutor del Doctorado de Irvin Malavé, Persona que dirige la investigación. Financiador de la investigación
Yohanna Fabiola Zerpa Caldera	Médico internista encargada de aplicación de fármacos, vigilancia clínica de fármacos, revisión médica del artículo, validación de historia médica, validación del consentimiento informado, búsqueda bibliográfica, búsqueda de información, redacción del artículo, prosecución de cada caso.
Rosa Arelis Lobo de Márquez	Médico cirujano encargada de vigilancia clínica de fármacos, prosecución de cada caso, revisión del artículo.

Citación sugerida: Malavé, I., Colina, M., Zerpa, Y., Lobo, R. (2021). Estudio sobre la aplicación de quitosano para la cura de lesiones y heridas de la piel. *Revista Bases de la Ciencia*, 6(2), 95-112. DOI: https://doi.org/10.33936/rev_bas_de_la_ciencia.v%vi%i.3120 Recuperado de: <https://revistas.utm.edu.ec/index.php/Basedelaciencia/article/view/3120>

POLIÉSTERES COMO BIOMATERIALES. UNA REVISIÓN

Jesús Miguel Contreras-Ramírez^{1*}, Dimas Alejandro Medina¹, Meribary Monsalve²

¹Grupo de Polímeros, Departamento de Química, Facultad de Ciencias, Universidad de Los Andes, Mérida, 5101-A, Venezuela. E-mail: jeco@ula.ve, jecoraster@gmail.com, dimasmedina69@gmail.com

²Facultad de Ciencias Químicas, Universidad de Guayaquil, Guayaquil, 090514, Ecuador. E-mail: meribarymonsalve@gmail.com

*Autor para la correspondencia: jecoraster@gmail.com

Recibido: 02-03-2021 / Aceptado: 08-06-2021 / Publicación: 30-08-2021

Editor Académico: Ullrich Rainer Stahl

RESUMEN

Los materiales biodegradables se utilizan en envases, agricultura, medicina y otras áreas. Para proporcionar resultados eficientes, cada una de estas aplicaciones demanda materiales con propiedades físicas, químicas, biológicas, biomecánicas y de degradación específicas. Dado que, durante el proceso de síntesis de los poliésteres todas estas propiedades pueden ser ajustadas, estos polímeros representan excelentes candidatos como materiales sintéticos biodegradables y bioabsorbibles para todas estas aplicaciones. La siguiente revisión presenta una visión general de los diferentes poliésteres biodegradables que se están utilizando actualmente y sus propiedades, así como nuevos desarrollos en su síntesis y aplicaciones.

Palabras clave: biomateriales, polímeros biodegradables, poliésteres, policarbonatos, biopolímeros.

POLYESTERS AS BIOMATERIALS. A REVIEW

ABSTRACT

Biodegradable materials are used in packaging, agriculture, medicine, and many other areas. These applications demand materials with specific physical, chemical, biological, biomechanical, and degradation properties to provide efficient results. Since all these properties can be adjusted during the polyesters synthesis process, these polymers represent excellent candidates as biodegradable and bio-absorbable synthetic materials for all these applications. Here, in this review is presented an overview of the different biodegradable polyesters currently used, their properties, and new developments in their synthesis and applications.

Keywords: biomaterials, biodegradable polymers, polyesters, polycarbonates, biopolymers.

POLIÉSTERES COMO BIOMATERIAIS. UMA REVISÃO

RESUMO

A Os materiais biodegradáveis são usados em embalagens, agricultura, medicina e outras áreas. Para obter resultados eficientes, cada uma dessas aplicações exige materiais com propriedades físicas, químicas, biológicas, biomecânicas e de degradação específicas. Uma vez que todas essas propriedades podem ser ajustadas durante o processo de síntese de poliésteres, esses polímeros representam excelentes candidatos como materiais sintéticos biodegradáveis e bioabsorvíveis para todas essas aplicações. A revisão a seguir apresenta uma visão geral dos diferentes poliésteres biodegradáveis atualmente em uso, as suas propriedades, bem como novos desenvolvimentos em síntese e aplicações.

Palavras chave: biomateriais, Polímeros biodegradáveis, poliésteres, policarbonatos, biopolímeros.

1. INTRODUCCIÓN

Un Polímero biodegradable se puede definir como un material polimérico, que es susceptible a sufrir degradación luego de ser metabolizado por microorganismos (bacterias, hongos, entre otros) o por acción de las condiciones del medio ambiente (agua o luz solar), generando residuos con menor impacto ambiental. Estos materiales son clasificados en tres categorías: (1) poliésteres producidos por microorganismos, (2) polisacáridos naturales y otros biopolímeros, y (3) biopolímeros sintéticos, entre los que se cuentan las poliesteramidas y poliésteres alifáticos (Ohya, 2014; Douka, Vouyiouka, Papaspyridi, Papaspyrides, 2018; Bhagabati, 2020).

Tabla 1.- Definición de biodegradable, biorresorbible, bioerosionable y bioabsorbible

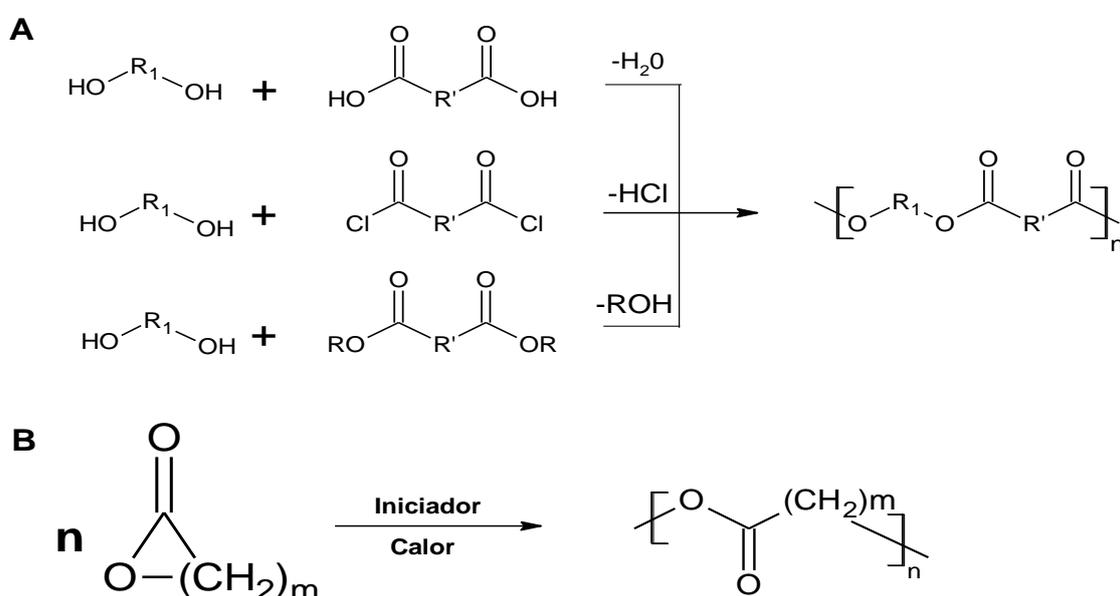
Biodegradable	Materiales poliméricos que pueden ser atacados por elementos biológicos que afectan su integridad generando fragmentos o productos de degradación que pueden migrar del lugar de acción, pero no necesariamente ser eliminados del organismo vivo.
Biorresorbibles	Materiales poliméricos que son degradados en su totalidad y los subproductos generados son eliminados por vías naturales como la metabolización sin efectos secundarios. El uso de la palabra biorresorbible es recomendable cuando ocurre eliminación completa del material polimérico.
Bioerosionables	Materiales poliméricos que muestran la degradación desde la superficie y además se reabsorben en vivo, sin efectos secundarios.
Bioabsorbibles	Materiales poliméricos que pueden ser disueltos en los fluidos corporales sin ninguna escisión de la cadena de polímero. Un polímero bioabsorbible puede ser biorresorbible si las macromoléculas dispersadas son excretadas.

Fuente: Woodruff & Hutmacher, 2010

En las últimas décadas los polímeros biodegradables y sus métodos de síntesis han adquirido gran interés ya que los polímeros que tienen las propiedades de ser biodegradables y biocompatibles son utilizados para el diseño de biomateriales. Entre los poliésteres alifáticos la polilactida, la poliglicolida y la poli(ϵ -caprolactona) han sido ampliamente investigados por sus potencialidades en biomedicina, siendo considerados tanto los homopolímeros, como también sus copolímeros. Los polímeros preparados a partir de ácido glicólico y ácido láctico han sido de gran utilidad en la industria médica, como suturas reabsorbibles desde el año 1960. Desde entonces muchos dispositivos médicos, basados en ácido láctico y glicólico, así como de otros materiales, como polidioxanona, poli(carbonato de trimetileno) y poli(ϵ -caprolactona), han venido adquiriendo auge en la ciencia médica (Vroman & Tighzert, 2009; Seyednejad, Ghassemi, Van Nostrum, Vermonden, & Hennink, 2011). En la actualidad estos materiales son ampliamente considerados por sus aplicaciones en la medicina regenerativa, en el diseño de andamiajes para el crecimiento tisular, en la confección de dispositivos para la liberación controlada de fármacos y en el diseño de prótesis (Massoumi, Sarvari & Agbolaghi, 2017; Brannigan & Dove, 2017; Washington, Kularatne, Karmegam, Biewer & Stefan,

2017; Shah & Vasava, 2019). Su degradación ocurre a través de la hidrólisis del enlace éster, razón por la que una de las aplicaciones más extendida es en la fabricación de suturas degradables y bioabsorbibles (Martina & Hutmacher, 2007; Shah, Kato, Shintani, Kamini & Nakajima-Kambe, 2014).

Siendo los poliésteres alifáticos, los polímeros biodegradables más investigados en la actualidad, es necesario dar a conocer que estos materiales pueden ser sintetizados por dos mecanismos diferentes: (i) polimerización en etapas o policondensación (Komorowska-Durka, Dimitrakis, Bogdał, Stankiewicz, Stefanidis, 2015), y (ii) poliadición por apertura de anillo (polimerización en cadena) (Vileta et al., 2014; Tong, 2017). La polimerización en etapas (policondensación), se basa en reacciones de condensación entre hidroxi-ácidos o las reacciones de un diácido con un diol (**Esquema 1**).

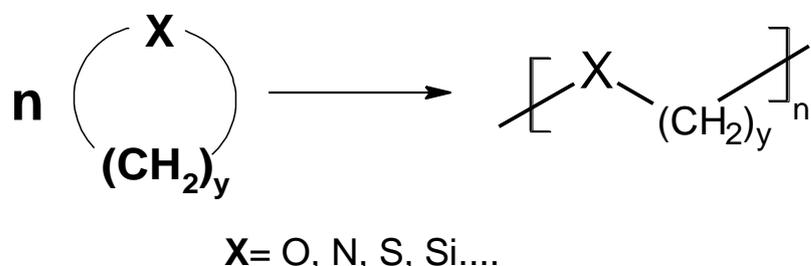


Esquema 1.- Preparación de poliésteres por policondensación (A) y polimerización por apertura de anillo (B).
Fuente: Elaboración propia.

Los principales inconvenientes del proceso de policondensación son: las altas temperaturas y los prolongados tiempos de reacción, que se traducen en un perjuicio para la masa molar del material sintetizado. Adicionalmente, las policondensaciones son reacciones en equilibrio que generan productos secundarios de baja masa molar que deben removerse del sistema de reacción para aumentar el rendimiento de este proceso (Douka et al., 2018; Jian, Xiangbin & Xianbo, 2020). Contrariamente, la poliadición por apertura de anillo es un mecanismo más apropiado ya que está libre de esas limitaciones, debido a que en condiciones de reacción menos drásticas se pueden obtener poliésteres alifáticos con altas masas molares y propiedades específicas (Nakayama, Sakaguchi, Tanaka, Cai & Shiono, 2015; Fukushima & Nozaki, 2020).

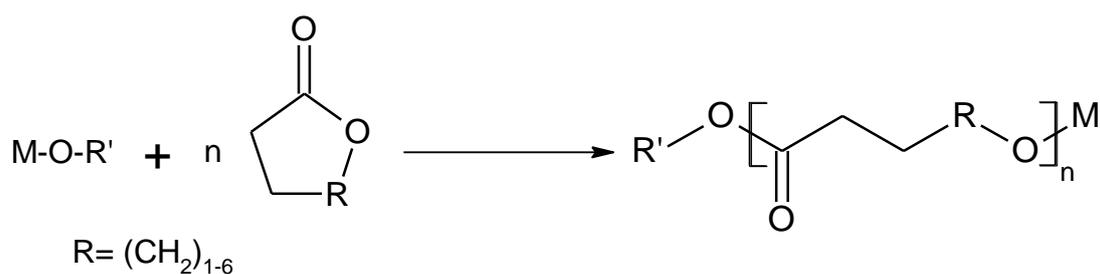
2. ASPECTOS MECANÍSTICOS DEL PROCESO DE POLIMERIZACIÓN POR APERTURA DE ANILLO DE ÉSTERES CÍCLICOS

La polimerización por apertura de anillo (PAA), puede ser definida como el proceso en el que un monómero cíclico es transformado a cadenas poliméricas lineales por medio de su apertura en presencia de un catalizador (**Esquema 2**).



Esquema 2: Paso de un monómero cíclico a un polímero lineal
Fuente: Elaboración propia.

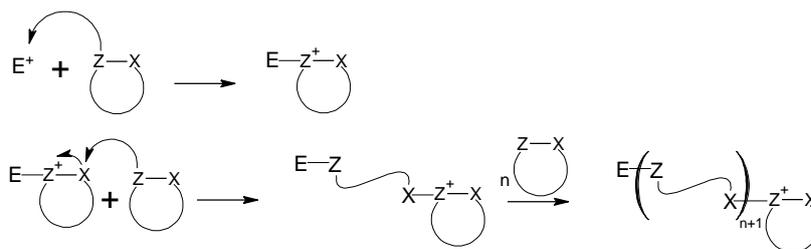
La mayoría de los monómeros cíclicos presentan heteroátomos y por tanto son altamente polarizables, siendo esto el causante de que el proceso de PAA pueda llevarse a cabo de forma iónica (catiónica o aniónica) o por coordinación (Endo, 2009). En la gran cantidad de publicaciones que hasta el momento se encuentran en la palestra científica y que hacen referencia a la síntesis de poliésteres alifáticos a través la PAA se ha encontrado que el tipo de mecanismo de polimerización de apertura de anillo de lactonas y diésteres cíclicos tiene una dependencia directa del iniciador o catalizador utilizado; es sabido que debido a ello, la polimerización puede ocurrir por tres diferentes mecanismos: catiónico, aniónico y de coordinación-inserción (Kaluzynski, Pretula, Lewinski, Kaźmierski & Penczek, 2020; Penczek, Pretula & Slomkowski, 2021).



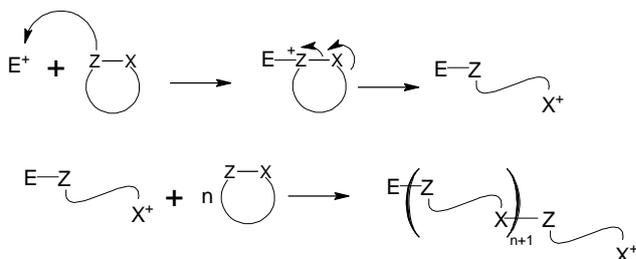
Esquema 3. Representación esquemática de la PAA de ésteres cíclicos.
Fuente: Albertsson & Varma, 2003.

PAA catiónica: en este proceso el iniciador o catalizador es de naturaleza catiónica. En la PAA catiónica interviene la formación de especies cargadas positivamente las cuales son seguidamente atacadas por el monómero. Éste ataque ocasiona la apertura de anillo a través de un ataque nucleofílico, el cual puede ocurrir a través de un mecanismo de sustitución nucleofílica unimolecular o bimolecular (Endo, 2009, kaluzynski et al., 2020; Penczek et al., 2021).

Sustitución nucleofílica bimolecular

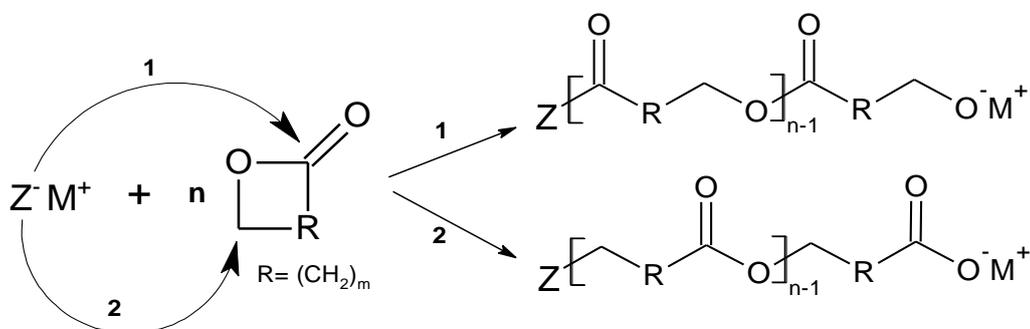


Sustitución nucleofílica unimolecular



Esquema 4. PAA catiónica de ésteres cíclicos.
Fuente: Endo, 2009.

PAA aniónica: la polimerización tiene lugar por el ataque nucleofílico del iniciador cargado negativamente sobre el carbonilo de la lactona (ruptura acil-oxígeno y un ión alcóxido es el anión propagante) o sobre el átomo de carbono en posición alfa al oxígeno del grupo acilo (ruptura alquil-oxígeno y la especie propagante sería el ión carboxilato). Las especies propagantes están cargadas negativamente (Lecomte & Jerome, 2020; Penczek et al., 2021).

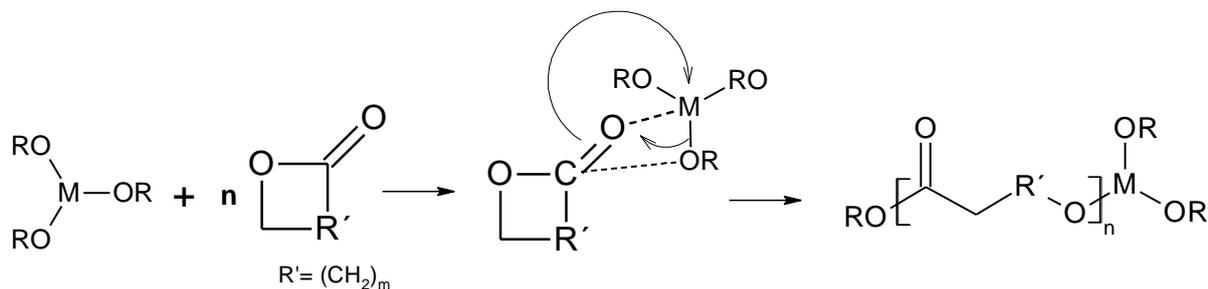


- 1: ruptura acil-oxígeno
- 2: ruptura alquil-oxígeno

Esquema 5. PAA aniónica de ésteres cíclicos.
Fuente: Albertsson & Varma, 2003.

PAA por coordinación-inserción: es un mecanismo de polimerización también conocido como pseudo-aniónica y ocurre en presencia de centros metálicos preferentemente. El proceso de propagación procede por la coordinación del monómero a través del oxígeno del grupo carbonilo, ya que es el átomo más nucleofílico, al átomo metálico del iniciador y/o catalizador, consecuentemente

hay una ruptura del enlace acil-oxígeno y finalmente la inserción del monómero entre el enlace metal-oxígeno (Penczek et al., 2021).



Esquema 6. PAA pseudo-aniónica de ésteres cíclicos.

Fuente: Penczek et al., 2021.

1. CATALIZADORES E INICIADORES UTILIZADOS PARA LA PAA DE LACTONAS Y DIÉSTERES CÍCLICOS

Recientemente han surgido novedosos y efectivos sistemas catalíticos basados en diversos compuestos organometálicos, los cuales han mostrado una alta efectividad como iniciadores en la PAA de ésteres cíclicos (Jérome & Lecomte, 2008; Santoro, Zhang & Redshaw, 2020; Phan, Korsten, Englezou, Couturaud, Nedomay, Pearce & Taresco, 2020). Por tanto, seguidamente se describen los diferentes sistemas catalizadores e iniciadores utilizados para la polimerización por apertura de anillo clasificados según el grupo al que pertenece el centro metálico en la tabla periódica.

Catalizadores e iniciadores del grupo I: diferentes compuestos basados en metales alcalinos, han mostrado una buena eficiencia como iniciadores de la PAA de ϵ -caprolactona y L-lactida. Sin embargo, la alta basicidad de las especies iónicas formadas en el proceso de polimerización resulta en detrimento del polímero formado propiciando la ocurrencia de reacciones colaterales (reacciones de Back-biting por ejemplo) y con ello amplias distribuciones de masas molares (Hirao, Goseki & Ishizone, 2014). Los compuestos y complejos metálicos utilizados presentan diferentes ligandos, que van desde fenolatos, pasando por mezclas de ligandos que contienen oxígeno y nitrógeno como grupo dador o ligandos con solo nitrógeno (Arbaoui & Redshaw, 2010). Un ejemplo de lo mencionado anteriormente son las investigaciones realizadas para la polimerización de lactide, ϵ -caprolactona, δ -valerolactona y trimetilen carbonato (Saito, Aizawa, Yamamoto, Tajima, Isono & Satoh, 2018; Tan, Xiong & Chen, 2018) y para la polimerización de la ϵ -caprolactona (Chang & Liang, 2007); en ambos casos se presenta la síntesis de materiales poliméricos con valores de dispersidad bajos y conversión a polímeros alta. Además, el cloruro de litio y compuestos organometálicos de litio tales como: el butillitio y ter-butóxido de litio han sido utilizados de forma efectiva para la polimerización por apertura de anillo de la L-lactida (Sutar, Maharana, Dutta, Chen & Lin, 2010; Liang, Zhang, Ni, Li & Shen, 2013). A parte de los iniciadores y catalizadores basados en litio, también hay sistemas

basados en metales como el sodio y el potasio que han iniciado la PAA de anillo de diferentes lactonas y lactidas (Chen, Zhang, Lin, Reibenspies & Miller, 2007).

Catalizadores e iniciadores del grupo II: recientemente sales y complejos de Mg(II), Ca(II) y Sr(II), han sido utilizados para la polimerización de ésteres cíclicos, lo que ha sido originado por las características que estos centros metálicos ofrecen a los polímeros sintetizados (ausencia de color, bajo costo y baja toxicidad) y su potencialidad para ser utilizado en aplicaciones biomédicas (Santoro et al., 2020; Phan et al., 2020). Además, los metales alcalinotérreos presentan biocompatibilidad, su carácter electropositivo y naturaleza biológicamente benigna los han convertido en una alternativa interesante para desarrollar iniciadores y catalizadores utilizados en la PAA de diferentes lactonas (Dutta, Hung, Huang & Lin, 2012).

Catalizadores e iniciadores desde grupo III hasta el grupo XII: todos los metales presentes en este grupo son los metales de transición o los metales del bloque “d”. Derivados y sales de metales de transición tales como: escandio, itrio, zirconio, titanio, hafnio, vanadio, molibdeno y cinc, entre otros, han sido utilizados para la polimerización de diferentes lactonas y lactidas, teniendo como resultados poliésteres de baja distribución de pesos moleculares y propiedades adecuadas para ser utilizados como biomateriales (Gowda & Chakraborty, 2010; Gowda, Chakraborty & Ramkumar, 2010, Gowda, Chakraborty & Ramkumar, 2011; Dutta et al., 2012;; Contreras, Vivas & Torres, 2007; Contreras, Pestana, López, & Torres, 2014; Guillaume, Kirillov, Sarazin & Carpentier, 2015; Honrado, Otero, Fernández-Baeza, Sánchez-Barba, Garcés, Lara-Sánchez & Rodríguez, 2016).

Catalizadores e iniciadores del grupo XIII y XIV: complejos de Al(III), Ga(III), Bi(III) y Sn(IV) han sido utilizado de forma efectiva para la PAA de diferentes ésteres cíclicos, siendo el estaño el metal que más se ha utilizado como iniciador y catalizador en este tipo de polimerización (Wu et al., 2006; Dutta et al., 2012).

Catalizadores e iniciadores de tierras raras: una gran variedad de derivados de tierras raras ha sido utilizada de forma exitosa como catalizadores o iniciadores de la PAA de monómeros cíclicos tales como lactonas, lactida y carbonatos. Estos catalizadores han sido estudiados ampliamente debido a su alta actividad catalítica. Alcóxidos y metalocenos de tierras raras se utilizaron para polimerizar lactonas con peso molecular controlado y al punto que con los metalocenos se produjeron polimerizaciones del tipo viviente. Además, también se han realizado de forma exitosa las copolimerizaciones en bloque de ésteres cíclicos con α -olefinas (Lecomte & Jérôme, 2011). Por otro lado, complejos de tierras raras con ligandos multidentados de nitrógeno han polimerizado lactida y ϵ -caprolactona de forma controlada. Diferentes complejos del tipo tetrahidrobórato, asistidos o no con otros ligandos se han reportado en el uso como catalizadores en la polimerización de lactonas y

lactidas (Jérome y Lecomte, 2008; Lyubov, Tolpygin & Trifonov, 2019). Alcóxidos metálicos de tierras raras son muy activos en la PAA de ésteres cíclicos; las velocidades de polimerización obtenidas son comparables con las registradas en la polimerización vía aniónica. Además, si los ligandos de los complejos utilizados como iniciadores son voluminosos se reducen las reacciones de transesterificación formando polímeros con distribución de pesos moleculares estrechos y por ende propiedades mecánicas adecuadas para una aplicación definida y específica (Arbaoui & Redshaw, 2010; Lyubov et al., 2019). Contreras-Ramírez et al., llevaron a cabo el estudio de la polimerización de ϵ -caprolactona, L-lactida, TMC, DMCA y 1-MTMC usando diversos derivados de samario como iniciadores. En general, se obtuvieron materiales poliméricos con buenos rendimientos y buen control en lo que respecta a la masa molar (Contreras, Medina, López-Carrasquero & Contreras, 2013; Contreras & Monsalve, 2020; Contreras & Monsalve, 2021).

2. POLIÉSTERES ALIFÁTICOS

En el pasado, el término poliéster hacía referencia a todos aquellos derivados de las reacciones de condensación entre un dialcohol y un diácido carboxílico. Sin embargo, en la actualidad dicho término se refiere a los materiales poliméricos que contienen uno o varios grupos éster como constituyente fundamental en la cadena principal de la macromolécula, sin dejar a un lado aquellos polímeros derivados de ácidos fosfónicos, sulfónicos y fosfóricos. Teóricamente, este tipo de polímeros son potencialmente biodegradables en la presencia de agua ya que podría ocurrir la hidrólisis de los grupos éster. En la práctica hay poliésteres hidrófobos que evitan este proceso de degradación como es el caso de los poliésteres aromáticos; siendo solo los poliésteres alifáticos con segmentos alquílicos relativamente cortos entre los grupos éster, los que podrían degradarse satisfactoriamente en un tiempo específico (Nair, Sekhar, Nampoothiri & Pandey, 2017; Larrañaga & Lizundia, 2019).

Este tipo de polímeros se puede obtener desde una fuente natural o sintética. Los naturales se pueden encontrar en un amplio rango de bacterias, también conocidos como polímeros bacteriales o polihidroxicanoatos (PHA). Los primeros polímeros identificados de esta clase son el polihidroxiacetato (PHA) (Figura 1a) producido por la bacteria "*Bacillus megaterium*" y un copolímero de polihidroxiacetato y unidades repetitivas de 3-hidroxivalerato distribuidas al azar (Figura 1b). Otro polímero bacterial es el poli(β -malato) o ácido poli(β -málico) (PMLA) (Figura 1c), todos ellos generados por las bacterias cuando hay sustancias nutritivas y fuentes de carbono en exceso, que son asimiladas y almacenadas para consumo posterior (Park, Kim, Lee, Lim, 2012; Meng, Shen, Yao, Chen, Wu & Chen, 2014; Lee & Na, 2014; Choi, Cho, Lee, Kim, Kim & Lee, 2020; Qi, Jia, Liu, Chen, Wei, Hu, Chi & Chi, 2021).

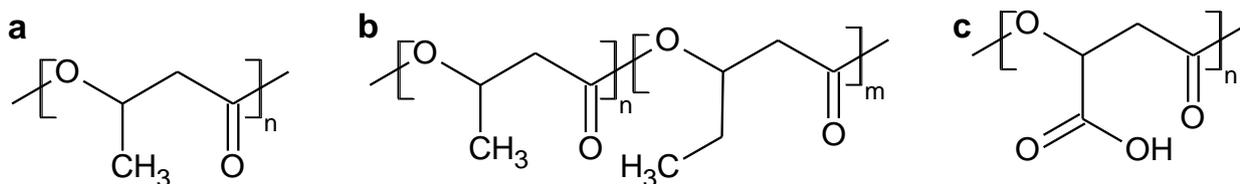


Figura 1.- a) Estructura del polihidroxibutirato (PHB), b) estructura del copolímero poli(hidroxibutirato-co-hidroxivalerato) (P(HB-co-HV)), y c) estructura del poli(β -malato) (PMLA).

Fuente: McIntyre, 2003; Sudesh & Doi, 2005.

Entre poliésteres generados por otras fuentes como las plantas, existen dos tipos principales que se han identificado con estructuras complejas. El primero de ellos es la cutina, cuyo papel es proteger la superficie de las plantas que la genera, y el segundo es la suberina, que presenta una estructura muy compleja y función similar a la cutina (Philipe, Sørensen, Jiao, Sun, Fei, Domozych & Rose, 220). Además, también se puede hacer referencia al Shellac (goma lacca), un poliéster natural que se encuentra en las excreciones de los insectos de la familia *Kerriidae* del género *Kerria*. Esta resina biodegradable mezcla de polihidroxiácidos alifáticos (presentes como lactonas y poliésteres), fue utilizada ampliamente como una cubierta protectora y su uso es muy bien conocido en la India. Como dato curioso es importante destacar que fue el shellac el que condujo a Leo H. Baekeland a sintetizar las resinas fenólicas y con ello a la fundación de la industria de los polímeros sintéticos al principio de siglo XX (Bar & Bianco-Peled, 2020). De los poliésteres naturales mencionados, los que han adquirido mayor importancia comercial son los PHB, incluso “W. R. Grace and Company” en los años 60’s adquirió una patente para extraer el PHB y hacer dispositivos médicos absorbibles como suturas. En la década de los 70’s se comercializaron los copolímeros de polihidroxibutirato con polihidroxivalerato bajo el nombre de BIOPOL, un material con las mismas aplicaciones, pero mejores propiedades mecánicas (Lee & Na, 2014; Rivera-Briso & serrano, 2018).

A parte de los poliésteres naturales, existen una serie de poliésteres alifáticos sintéticos, ampliamente utilizados como polímeros biodegradables en medicina (Seyednejard, Ghassemi, Van Nostrum, vermonden, & Hennink, 2011; Manavitehrani, Fhati, Badr, Daly, Shirazi, A & Dehghani, 2016; Branningan & Dove, 2017). La **Tabla 2** muestra algunos de estos materiales sintéticos y sus aplicaciones tanto en la fabricación de suturas biodegradables y bioabsorbibles como en dispositivos ortopédicos (Woodruff & Hutmacher, 2010; Larrañaga & Lizundia, 2019).

El uso de monómeros como lactonas y diesteres cíclicos en la polimerización por apertura de anillo ha sido exitosa en cuanto a la síntesis de poliésteres alifáticos con potencial uso en el diseño de materiales con aplicaciones médicas y ecológicas (Woodruff & Hutmacher, 2010; Branningan & Dove, 2017; Larrañaga & Lizundia, 2019). Cabe destacar que, debido a la abundancia de los ésteres en la naturaleza, se considera que un polímero sintético que tenga este grupo funcional en su estructura pueda ser ambientalmente degradable. Por ello en la actualidad se está mirando a la

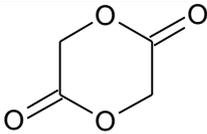
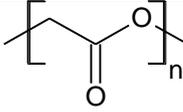
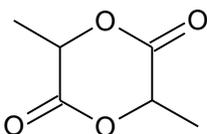
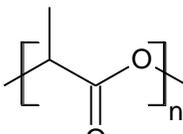
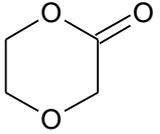
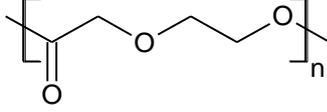
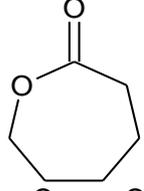
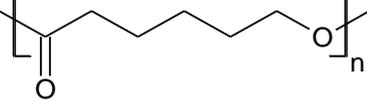
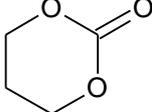
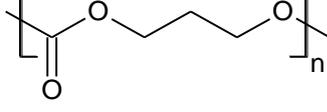
naturaleza como un modelo a seguir para el desarrollo de materiales bioadaptables, biocompatibles y ambientalmente amigables (Branningan & Dove, 2017). La **Tabla 3** muestra las estructuras de los monómeros más utilizados para la síntesis de poliésteres alifáticos a través de la polimerización por apertura de anillo.

Tabla 2.- Poliésteres biodegradables y sus usos en biomedicina.

Tipo de polímero	Poliéster	Usos	Marca comercial
Homopolímeros	Poli(lactida)	Cirugía ortopédica, suturas orales y maxilofaciales	Fixsorb, Arthrex, Neofix, Smartnail, Smartpin, Bioscrew, Bio-corkscrew.
	Poli(glicolida)	Cirugía ortopédica, suturas general	Biofix, Dexon, Bondek, Valtrac.
	Poli(caprolactona)	Suturas, liberación de fármacos	Capronor, Eticon
Copolímeros	Poli(dioxanona)	Suturas y cirugía ortopédica	Ethipin, Orthosorb, Bone cement plug.
	Poli(lactida-glicolida)	Suturas, liberación de fármacos, suturas periodontales	Polysorb, Makar, Lactosorb, Vicryl
	Poli(lactida-caprolactona)	Regeneración tisular	Neurolac

Fuente: Woodruff & Hutmacher, 2010.

Tabla 3.- Estructuras de monómeros heterocíclicos y sus homopolímeros

Monómero	Estructura	Homopolímero lineal
Glicolida		
Lactida		
Dioxanona		
ϵ -Caprolactona		
Carbonato de trimetileno		

Fuente: Albertsson & Varma, 2002.

Poliésteres utilizados para el diseño de biomateriales

Un biomaterial es en esencia, un sistema adaptado y utilizado para una aplicación médica que puede presentar funciones benignas o ser un sistema activo. Estos materiales comúnmente son utilizados en diferentes áreas médicas como: dentaria, quirúrgica, regeneración tisular y en la administración de fármacos (Tathe, Ghodke & Nikalje, 2010). El entendimiento de las interacciones que tienen lugar en la superficie de un material y la composición del sistema biológico es uno de los requerimientos más importante para el desarrollo adecuado de biomateriales, además, es crucial saber las propiedades físicas y químicas de las capas superiores de la superficie del material ya que es esta parte, la que va interactuar más activamente con los parámetros biológicos y será allí donde ocurrirá la adsorción de proteínas, el crecimiento celular y estará expresada la biocompatibilidad del material con el sistema vivo. Existen una serie de requerimientos mínimos que deben tener los biomateriales, estos son: no ser tóxicos, funcionalidad adecuada y específica, esterilizabilidad y biocompatibilidad (Srichana & Domb, 2009).

La biocompatibilidad de un material polimérico con un sistema vivo está determinado por las características mostradas en la **Tabla 4**, hay que tomar en cuenta que el proceso de biocompatibilidad no solo depende de las características del biomaterial, sino también de variables características y particulares del huésped (Srichana & Domb, 2009).

Tabla 4.- Características de la biocompatibilidad de materiales en sistemas vivos.

Material	Dispositivo	Huésped	Sistema
Composición química	Tamaño	Especie	Técnica quirúrgica
Características químicas de la superficie del material	Forma	Tipo de tejido y localización	Inserción del implante
Morfología	Módulo de elasticidad	Edad	
Carga de la superficie		Sexo	
Estabilidad química		Características generales de la salud	
Productos de la degradación química		Régimen farmacéutico	

Fuente: Srichana & Domb, 2009

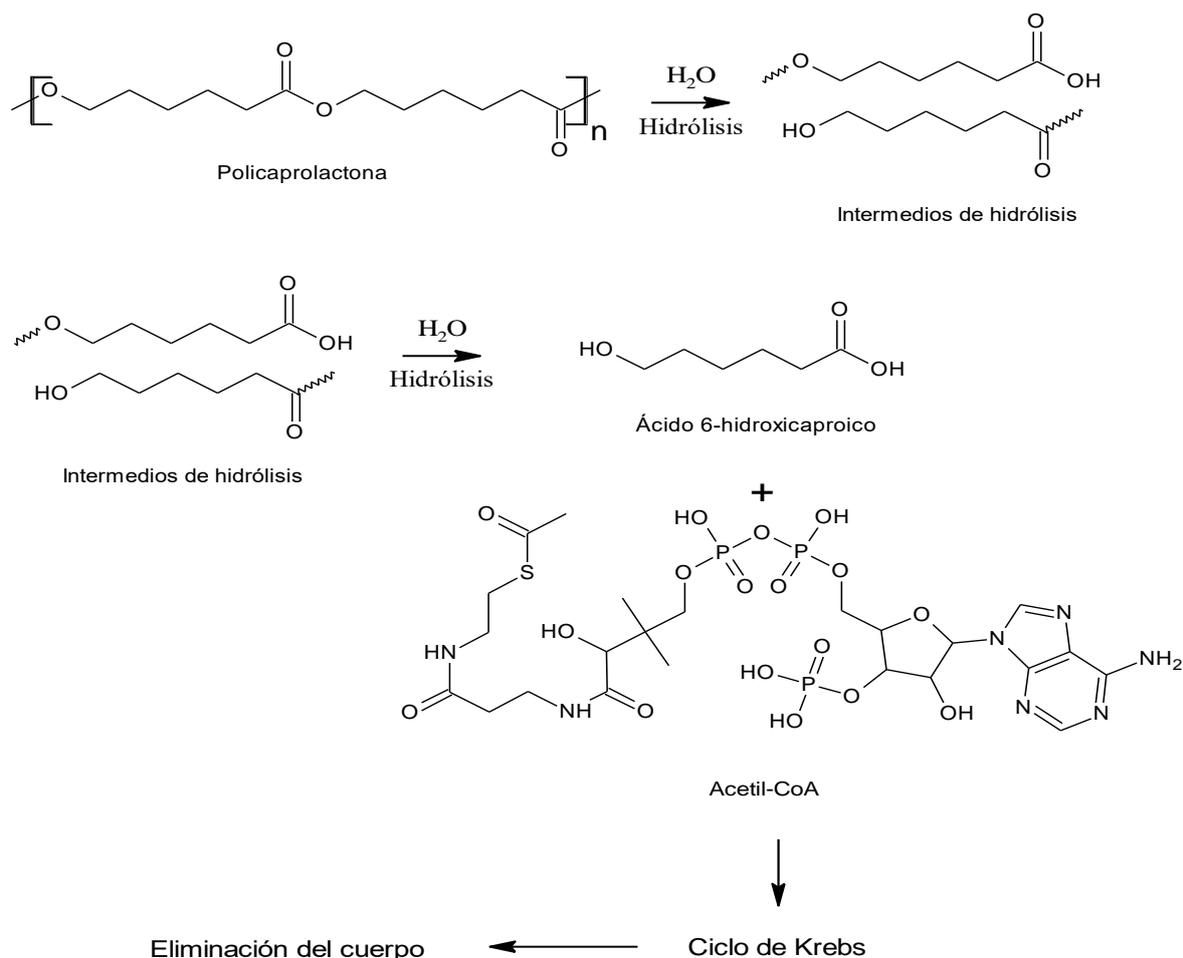
Los poliésteres sintéticos degradables más utilizados en la confección de biomateriales son los obtenidos por la PAA, principalmente la polimerización y copolimerización de tres monómeros (lactida, glicolida y caprolactona). Estos polímeros son degradados en un amplio rango de tiempo, que va desde varios días hasta años. Toda la familia de polímeros de este tipo es insoluble en agua pero son degradados por ataque hidrolítico al enlace éster. El mecanismo y las propiedades de degradación del polímero dependen de varios efectos, pero el que presenta una mayor influencia es la cristalinidad del material ya que afecta los procesos de difusión dentro del seno de las cadenas poliméricas (Woodard & Grunlan, 2018). A continuación, se realizará un resumen de la mayoría de

aplicaciones que han tenido la policaprolactona, la polilactida y el politrimetilencarbonato en el campo de la biomedicina.

Policaprolactona: fue uno de los primeros poliésteres sintetizado por Carothers en la década de los 30's, puede ser preparado a través de la PAA de la ϵ -caprolactona (polimerización aniónica, catiónica o coordinación), y el otro es vía radical del 2-metilen-1,3-dioxepano (Agarwal, 2010; Tong, 2017). La PAA del monómero cíclico ϵ -caprolactona utilizando diferentes catalizadores organometálicos y complejos metálicos han sido las mejores vías de síntesis de la policaprolactona. Dependiendo del tipo de mecanismo de polimerización se ven afectadas las propiedades físicas del material. La policaprolactona es hidrófoba, semicristalina, tiene bajo punto de fusión (59-64°C), presenta buena solubilidad en diferentes solventes orgánicos. La policaprolactona es un polímero ideal para ser utilizado en mezclas, es un buen compatibilizante, además es utilizado para mejorar las propiedades mecánicas de varios polímeros (Woodruff & Hutmacher, 2010).

Su prolongado proceso de degradación hizo que este polímero fuese descartado por un tiempo para el diseño de biomateriales y debido a esto se comenzó a realizar las investigaciones en la síntesis de copolímeros de caprolactona con otros monómeros que presentaran tiempos de degradación más rápidos como por ejemplo la lactida y la glicolida. Después del año 2000 con el desarrollo de la ingeniería de tejidos, resurgió rápidamente el interés en la policaprolactona ya que en este nuevo campo en desarrollo, todas las potencialidades de la policaprolactona incluyendo sus prolongados tiempos de degradación son muy valiosas (Woodruff & Hutmacher, 2010).

Biodegradación: la biodegradación de la policaprolactona puede ocurrir de dos pasos, primero ocurre la erosión de la superficie del biomaterial y luego la degradación de la masa del dispositivo ya que el proceso de degradación está gobernado por la difusión del agua dentro de las cadenas de polímero, ocasionando la ruptura del enlace éster. Los homopolímeros de caprolactona tienen un tiempo total de degradación de 2 a 4 años, pero la velocidad de degradación se puede variar si se utilizan copolímeros de caprolactona con otros monómeros (lactonas, diésteres cíclicos o carbonatos). La degradación de la policaprolactona ocurre en dos procesos: el primero de ellos es la ruptura no enzimática del enlace éster, y el segundo es cuando el polímero presenta mayor cristalinidad y valores de masa molar de 3000 Daltón o menos. Seguidamente, ocurre la degradación intracelular en los fagosomas de los macrófagos y células gigantes, lo que supone la metabolización del ácido 6-hidroxicaprónico (**Esquema 7**) y luego su excreción y eliminación a través de heces y orina (Woodruff & Hutmacher, 2010; Bartnikowski, Dagarville, Ivanovski & Hutmacher, 2019).



Esquema 7. Proceso de degradación de la policaprolactona.

Fuente: Woodruff & Hutmacher, 2010.

El proceso de degradación, pérdida de peso, metabolización y eliminación de un andamiaje de policaprolactona ocurre después de 18 meses. En los primeros seis meses ocurre la hidratación del biomaterial, luego tiene lugar la pérdida de peso de las cadenas macromoleculares, pasado un año comienza la metabolización y después de los 18 meses se realiza la eliminación del único metabolito formado, el ácido 6-hidroxilcapróico (Bartnikovski et al., 2019).

Biocompatibilidad: la biocompatibilidad de un biomaterial está expresada en la intensidad y el tipo de respuesta que da el tejido celular a la interacción “dispositivo extraño-huésped”. In vitro la biocompatibilidad es medida por la citotoxicidad, in vivo se mide a través del examen histológico y patológico en los tejidos periféricos al lugar del implante del biomaterial. Para poder diseñar un material biocompatible se debe jugar con la velocidad de degradación y la velocidad de biorresorción. Estudios in vivo, en animales, han demostrado que tanto el homopolímero de caprolactona y sus copolímeros (biomateriales del tipo: microesferas y andamiajes) presentan respuestas inflamatorias ligeras a moderadas, lo cual permite destacar la biocompatibilidad que presentan estos materiales, pero cuando el proceso de degradación del biomaterial es muy rápido la

respuesta inmunológica es considerable y ocasiona la no funcionalidad del dispositivo (Woodruff & Hutmacher, 2010).

Policaprolactona aplicada en sistemas liberadores de fármacos: la policaprolactona es un polímero adecuado para ser utilizado en la confección de dispositivos liberadores de fármacos, esto es debido a: su alta permeabilidad a diferentes fármacos, también la excelente biocompatibilidad y aunado a ello la completa biorresorción del dispositivo. Además, los homopolímeros de policaprolactona presentan velocidades de degradación lentas. Se han diseñados dispositivos liberadores de fármacos del tamaño de 50-500 μm (microesferas) y 10-1000 nm (nanoesferas). Tanto las microesferas como las nanoesferas de policaprolactona y sus copolímeros son bioresorbibles y pueden ser degradadas para producir especies de bajo peso molecular y no tóxicas, lo cual es ventajoso para el proceso de liberación controlada del fármaco (Woodruff & Hutmacher, 2010; Mohamed & Yusoh, 2015).

Policaprolactona aplicada en dispositivos médicos: homopolímeros y copolímeros de policaprolactona han sido desarrollados y comercializados para aplicaciones en suturas, apósitos para heridas, dispositivos para la liberación controlada de anticonceptivos, dispositivos de fijación y para la ciencia odontológica (Woodruff & Hutmacher, 2010, Mohamed & Yusoh, 2015).

Policaprolactona aplicada a la ingeniería de tejidos: todo candidato a ser utilizado para el diseño de andamios tisulares en la ingeniería de tejidos debe presentar las siguientes características: (i) Estructuras tridimensionales con alta porosidad y cadenas de poros interconectados. (ii) Biocompatibilidad y bioadsorbabilidad con velocidades controladas de degradación y readsorción. (iii) Superficie química estable y adecuado para la fijación, la proliferación y diferenciación celular. (iv) Propiedades mecánicas apropiadas y similares a la del tejido del lugar de implantación (Woodruff & Hutmacher, 2010, Larrañaga & Lizundia, 2019). Homopolímeros y copolímeros de policaprolactona y otros poliésteres alifáticos se han utilizado como base para el diseño de andamios con la finalidad de desarrollar tejido óseo, células epiteliales, tejido nervioso, tejido cartilaginoso, tendones y ligamentos (Dalton, Woodfield & Hutmacher, 2009; Asghari, Samiei, Adibkia, Akbarzadeh & Davaran, 2017).

Polilactida: la polilactida o el poli(ácido láctico) (diferente nombre para el mismo producto), es sintetizado por medio de la reacción de condensación de unidades de ácido láctico. Este proceso tiene una gran limitante, la cual es que el polímero obtenido presente baja masa molar, y además la reacción de condensación necesita condiciones drásticas para obtener alta conversión de monómero a polímero (Hamad, Kaseem, Yang, Deri, Ko, 2015). En cambio, otro proceso de obtención de la polilactida, es la PAA del dímero cíclico del ácido láctico, la que en la mayoría de las ocasiones la PAA está catalizada por alcóxidos de metales, siendo uno de los más destacados los alcóxidos de

estaño (Coates & Jeske, 2010; Kricheldorf, Weidne, 2019). Éste polímero es termoplástico, puede ser semicristalino o completamente amorfo lo que depende de la pureza estereoquímica de la cadena principal del polímero (Hamad et al., 2015). Las unidades lactil pueden estar presentes en las cadenas del polímero de tres formas diastereoisoméricas: L-lactida, D-lactida y meso-lactida; y dependiendo de esto se puede sintetizar poli(L-lactida) y poli(D-lactida) los cuales son polímeros cristalinos con un punto de fusión alrededor de los 180 °C. En el caso de la poli(DL-lactida) es un polímero atáctico con una transición vítrea entre los 50-57 °C, cuyas propiedades térmicas dependen del peso molecular y la relación de distribución de los isómeros (Ahmed, Zhang, Song & Varshnet, 2009).

La polilactida es uno de los polímeros biodegradables que presenta comportamiento similar al poli(tereftálato de etileno) y al polipropileno. Es un polímero que últimamente presenta un amplio rango de aplicaciones y gracias a su capacidad de formar películas y fibras, puede ser trabajado a través del moldeo por inyección, y tiene la peculiaridad de ser utilizado para el diseño de preformas de botellas, similar a los usos que tiene el poli(tereftálato de etileno) en la confección de botellas plásticas (Tábi, Sajó, Szabó, Luyt, Kovács, 2010). La polilactida debido a su biocompatibilidad y biodegradabilidad tiene potenciales aplicaciones en la ciencias médicas y en la biotecnología (Ahmed & Varshney, 2010; Alsaheb, Aladdin, Othman, Malek, Leng, Aziz & El Enshasy, 2015). Por otro lado, las propiedades reológicas son una herramienta útil para evaluar la termoplaticidad de la polilactida, y por medio de ellas se logra afirmar que son varios los factores intrínsecos que afectan las características de fluencia de estos polímeros. Dichos factores son: la masa y la distribución de masas moleculares, el grado y el tipo de ramificaciones, la composición y las longitudes de las secciones estereoquímicas de la cadena macromolecular. Las moléculas en la polilactida semicristalina se encuentran en un arreglo organizado y ello le proporciona fuerzas intermoleculares que se traduce en una mayor resistencia al flujo, caso contrario ocurre en la polilactida amorfa que exhibe una menor resistencia a la fluencia. La polilactida presenta un comportamiento de fluido viscoelástico (Ahmed & Varshney, 2010; Tabi et al., 2010).

Biodegradación: En las últimas décadas la degradación de los materiales constituidos por polilactida (suturas, implantes quirúrgicos y sistemas liberadores de fármacos) ha sido estudiada con mucho detalle, llegando a la conclusión que la biodegradación ocurre en primer lugar por medio de una hidrólisis o de procesos enzimáticos y por último se realiza la metabolización (Shasteen & Choi, 2011; El Sawi, Kim, Park & Deep, 2017). Diferentes estudios realizados con polilactida han demostrado que tanto la cristalinidad del polímero, su masa molecular y el contenido estereoisomérico afectan el proceso de degradación y el tiempo de duración de éste. Oligómeros de polilactida son degradados completamente sin tener en cuenta la composición enantiomérica, L-dímeros de lactida son consumidos más rápidamente que oligómeros racémicos del mismo

monómero (Elsawi et al., 2017). La biodegradabilidad de la polilactida tiene una dependencia sobre el medio en el cual es expuesto, si es un cuerpo animal o humano.

Biocompatibilidad: la polilactida desde finales de los años 60's ha sido utilizada en el diseño de biomateriales debido a su biocompatibilidad, es decir la habilidad que presenta el material para formar productos de degradación inocuos y además ocasionar una respuesta adecuada del huésped sin estar presente una respuesta inmunológica adversa (Ahmed & Varshney, 2010).

Polilactida aplicada en el campo biomédico: debido a su biocompatibilidad y a su bioreadsorción en el cuerpo humano, la polilactida ha sido empleada en la manufactura de andamios para la ingeniería de tejidos y en el diseño de sistemas liberadores de fármacos (Xiao, Wang, Yang & Gauthier, 2012; Gupta & Kumar, 2007, Hamad et al., 2015, Alsaheb et al., 2015). En el área de la liberación controlada de fármacos, La polilactida ha sido utilizada en diferentes formas de dosificadores, tales como: gránulos, micro-cápsulas, micro-partículas y nano-partículas. Siendo estas dos últimas formas, las más utilizadas para desarrollar investigaciones en el área de liberación de principios activos dirigidos y en la liberación sostenible de péptidos y proteínas (Xiao et al., 2012). Un ejemplo de lo mencionado anteriormente es la investigación realizada por Chen y colaboradores en el 2007, que tuvo como objetivo el desarrollo de nanopartículas de polilactida como un vector de transfección no viral, logrando identificar que para aumentar la eficiencia de transferencia del material genético fue necesario modificar químicamente la polilactida y trabajar con copolímeros constituidos por otros materiales tales como: polietilenglicol y quitosano (Chen et al., 2007). Otro ejemplo es el desarrollo de micro-partículas de polilactida para la liberación controlada de paclitaxel reduciendo la inflamación causada por la artritis en conejos (Blasi, 2019). Por último, las partículas constituidas por copolímeros de polilactida y polietilenglicol fueron utilizadas para la liberación controlada de una proteína (tetanus toxoide), a través de la mucosa nasal en ratas (Xiao, Zeng, Zhou, Wang, Li & Wang, 2010).

Por otra parte, en la ingeniería de tejidos frecuentemente se han utilizado polímeros degradables, tales como la poliglicolida y la polilactida además de sus copolímeros. Shim y colaboradores desarrollaron un andamio por medio de la técnica de electro-spinning teniendo como polímero base la poli(L-lactida) que se utilizó para la proliferación de osteoblastos (Shin, Jung, Kim, Seol, Park, Park & Lee, 2010). Sin embargo, el uso clínico de los andamios constituidos de polilactida es muy limitado, debido a la respuesta inmunológica desfavorable que pueda presentar el huésped ante el biomaterial. No obstante, se han realizado ensayos clínicos de estos andamios para la regeneración tisular de cartílago con muy buenos resultados (Iwasa, Engebretsen, Shima & Ochi, 2009).

Los policarbonatos: diferentes trabajos de investigación, desarrollados desde la década de los 90, han demostrado que la polimerización de carbonatos cíclicos a policarbonatos lineales alifáticos se puede realizar mediante la PAA, lo que produce polímeros con buenos rendimientos y elevadas masas molares (Mespouille, Coulembier, Kawaleca, Dove & Dubois, 2014; Tamura, Matsuda, Nakagawa & Tomishige, 2018). Entre los monómeros más empleados se pueden citar el etilencarbonato, trimetilencarbonato y 2,2-dimetiltrimetilencarbonato (**Figura 2**).

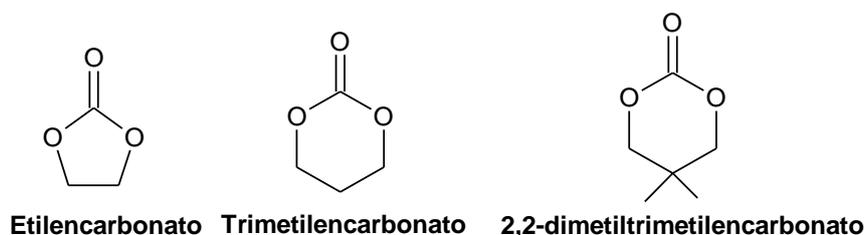
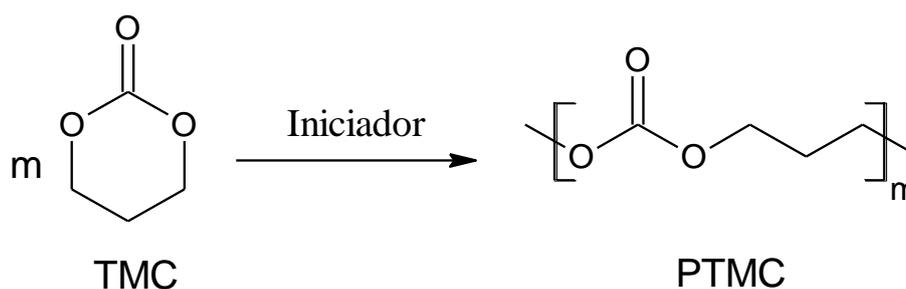


Figura 2: Principales monómeros empleados para obtener policarbonatos alifáticos
Fuente: Monsalve & Contreras, 2014.

Los policarbonatos alifáticos han llamado la atención como polímeros biodegradables debido a su biocompatibilidad y sus características químicas, permitiendo que sean tomados como materiales con los que se pueden diseñar nuevos polímeros para aplicaciones biomédicas como materiales bioabsorbibles entre muchas otras aplicaciones; esto sin dejar a un lado que su uso puede ser en combinación con otro tipo de polímeros, ya sea como mezclas o copolímeros (Chandure, Umare, Pandey, 2008). Una ruta común y muy usada para la síntesis del PTMC y otros policarbonatos es la PAA en masa o en solución, usando generalmente compuestos metálicos como catalizadores (Lyubov et al., 2019; Contreras & Monsalve, 2019) tal y como se muestra en el **Esquema 8**.



Esquema 8: Síntesis del politrimetilencarbonato (PTMC).
Fuente: Elaboración propia.

El politrimetilencarbonato (PTMC), es uno de los polialquilcarbonatos, más ampliamente investigados por su excelente biocompatibilidad, baja toxicidad y sus propiedades mecánicas (Helou, Miserque, Brusson, Carpentier, & Guillaume, 2009; Fukushima, 2016). Este polímero con masas molares elevadas ha sido estudiado a nivel biomédico como un candidato para implantes de piel y regeneración de tejidos, mientras que el de baja masa molar, como liberador de fármacos. Este material se caracteriza por tener velocidades de degradación in vivo mayores que las velocidades de

degradación in vitro debido posiblemente a la combinación de la degradación enzimática con la hidrólisis en la degradación in vivo (Yang, Li, Zhang, Jin, Zhang, Liu, Yi, Li, Guo, & Gua, 2015; Brannigan & Dove, 2017). El mal funcionamiento mecánico de los homopolímeros limita significativamente sus aplicaciones y en consecuencia se han desarrollado una gran variedad de copolímeros con otras lactonas cíclicas; tales como poliglicolida-co-politrimetilencarbonato, los cuales son empleados como suturas (Maxon®) e incluso como tornillos y tachuelas ortopédicas (Acufex®) (Nair & Laurencin, 2007).

Por otro lado, los monómeros 2,2-dimetiltrimetilencarbonato (DMCA) y 1-metiltrimetilencarbonato (MTMC), se han empleado para realizar diferentes estudios de homo y copolimerización ya que permiten obtener polímeros que de forma general, poseen propiedades similares a las mencionadas anteriormente para el PTMC, características de biocompatibilidad y biodegradación son muy similares, lo cual, resalta el interés de trabajar con este tipo de materiales (Dai, Zhu, Sun & Shen, 2010; Brignou, Carpentier, & Guillaume, 2011; Bai, Wang, & Zhang, 2019; Contreras & Monsalve, 2020; Contreras & Monsalve, 2021).

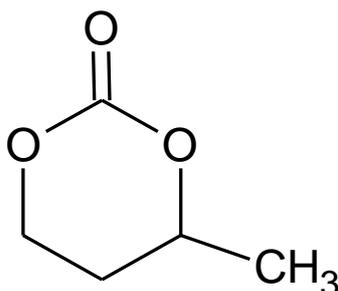


Figura 3: Estructura química del 1-metiltrimetilencarbonato (MTMC).
Fuente: Elaboración propia.

3. CONCLUSIONES

El creciente interés por mejorar la activación y aplicación de recursos renovables, así como del desarrollo de métodos ambientalmente amigables para la eliminación de los plásticos, asegurará que los materiales biorrenovables, biodegradables y biocompatibles, como los poliésteres alifáticos (PEA), estén destinados a la expansión a nuevos mercados y productos. El potencial que los PEA han demostrado en numerosas aplicaciones biomédicas como la ingeniería de tejidos y cicatrización de heridas, indica que en el futuro serán materiales de alto valor en el campo del mantenimiento de la salud física.

Por otra parte, existe una variedad de compuestos diferentes que pueden iniciar con éxito la PAA de ésteres cíclicos para proporcionar PEA. La elección del iniciador influye sobre los aspectos económicos relacionados con la producción del polímero, así como sobre el tipo de polímero

producido y sus aplicaciones. Aparte de las implicaciones para las aplicaciones prácticas de los PEA, entender cómo el iniciador controla la polimerización (velocidad o estereoquímica), es de importancia académica. Los desafíos futuros incluyen descubrir el mecanismo detallado de la polimerización, entendiendo los factores que rigen el control de la polimerización (estereocontrol, control de la masa molar del polímero y de la velocidad de polimerización). Por otro lado, existe una gran oportunidad para el desarrollo de iniciadores capaces de controlar la polimerización de ésteres cíclicos, motivo por el que la investigación sobre iniciadores de la polimerización, sigue siendo un campo de vibrante y próspero con muchos desafíos por resolver.

4. REFERENCIAS

- Agarwal S. (2010). Chemistry, chances and limitations of the radical ring-opening polymerization of cyclic ketene acetals for the synthesis of degradable polyesters. *Polym. Chem.* 1:953-964. DOI: 10.1039/c=PY00040J
- Ahmed, J., Zhang, J., Song, Z., & Varshnet, S.K. (2009). Thermal properties of polylactides: effect of molar mass and nature of lactide isomer. *J. Therm. Anal. Calorim.* 95(3):957-964. DOI: 10.1007/s10973-008-9035-x
- Ahmed, J., & Varshney, S. (2010). Polylactides-Chemistry, Properties and Green Packaging Technology: A Review. *Int. J. Food. Prop.* 14(1):37-58. DOI: 10.1080/10942910903125284
- Albertsson, A., & Varma, I. (2002). Aliphatic Polyesters: Synthesis, Properties and Applications. *Advances in Polymers Science*, 157:1-40. DOI: 10.1007/3-540-45734-8_1
- Albertsson, A., & Varma, I. (2003). Recent Developments in Ring Opening Polymerization of Lactones for Biomedical Applications. *Biomacromolecules*, 4(6):1466-1486. DOI: 10.1021/bm034247a
- Alsaheb, R., Aladdin, A., Othman, N., Malek, R., Leng, O., Aziz, R., & El Enshasy, H. (2015). Recent applications of polylactic acid in pharmaceutical and medical industries. *J. Chem. Pharm. Res.* 7(12):51-63.
- Arbaoui, A., & Redshaw, C. (2010). Metal catalysts for ϵ -caprolactone polymerization. *Polym. Chem.* 1(6):801-826. DOI: 10.1039/B9PY00334G
- Asghari, F., Samiei, M., Adibkia, K., Akbarzadeh, A., & Davaran, S. (2017). *Artif. Cell nanomed. B.* 45(2):185-192. DOI: 10.3109/21691401.2016.1146731
- Bai, J., Wang, J., & Zhang, L. (2019). Isothiourea-Based Lewis Pairs for Homopolymerization and Copolymerization of 2,2-Dimethyltrimethylene Carbonate with ϵ -Caprolactone and ω -Pentadecalactone. *J. Polym. Sci, Pol. Chem.* 57(23):2349-2355. DOI: 10.1002/pola.29543
- Bhagabati, P. (2020). Biopolymers and biocomposites-mediated sustainable high-performance materials for automobile applications. In *Sustainable Nanocellulose and Nanohydrogels from Natural Sources Micro and Nano Technologies*. Edited by: Faruq Mohammad, Hamad A. Al-Lohedan and Mohammad Jawaid, Amsterdam, Holand, Elsevier. Pag. 197-216. DOI: 10.1016/B978-0-12-816789-2.00009-2
- Blasi, P. (2019). Poly(lactic acid)/poly(lactic-co-glycolic acid)-based microparticles: an overview. *J. Pharm. Investig.* 49:337-346. DOI: 10.1007/s40005-019-00453-z
- Bar, H., & Bianco-Peled, H. (2020). Modification of shellac coating using jeffamine for enhanced mechanical properties and stability. *Prog. Org. Coat.* 141:105559. DOI: 10.1016/j.porgcoat.2020.105559
- Bartnikovski, M., Dagarville, T., Ivanovski, S., & Hutmacher, D. (2019). Degradation mechanisms of polycaprolactone in the contest of chemistry, geometry and environment. *Prog. Polym Sci.* 96:1-20. DOI: 10.1016/j.progpolymsci.2019.05.004
- Branningan, R., & Dove, A. (2017). Synthesis, properties and applications of hydrolytically degradable materials based on aliphatic polyesters and polycarbonates. *Biomater. Sci.* 5:9-21. DOI: 10.1039/C6BM00584E
- Brignou, P., Carpentier, J., & Guillaume, S. (2011). Metal- and Organo-Catalyzed Ring-Opening Polymerization of r-Methyl-Trimethylene Carbonate: Insights into the Microstructure of the Polycarbonate. *Macromolecules* 44:5127-5135. DOI: 10.1021/ma200950j
- Chandure, A., Umare, S., & Pandey, R. (2008). Synthesis and biodegradation studies of 1,3-propanediol based aliphatic poly(ester carbonate)s. *Eur. Polym. J.*, 44:2068-2086. DOI: 10.1016/j.eurpolymj.2008.01.001
- Chang, Y., & Liang, L. (2007). Preparation and structural characterization of group 1 metal complexes containing a chelating biphenolato phosphine ligand. *Inorg. Chim. Acta.* 360(1):136-142. DOI: 10.1016/j.ica.2006.07.050
- Chen, H., Zhang, J., Lin, Ch., Reibenspies, J., & Miller, S. (2007). Efficient and controlled polymerization of lactide under mild conditions with a sodium-based catalyst. *Green Chem.* 9(10):1038-1040. DOI: 10.1039/B705622B
- Chen, J., Tian, B., Yin, X., Zhang, Y., Hu, D., Hu, Z., Lui, M., Pan, Y., Zhao, J., Li, H., Hou, C., Wang, J., & Zhang, Y. (2007). Preparation, characterization and transfection efficiency of cationic PEGylated PLA nanoparticles as gene delivery systems. *J. Biotechnol.* 130(2):107-113. DOI: 10.1016/j.jbiotec.2007.02.007

- Choi, S., Cho, I., Lee, Y., Kim, Y., Kim, K., Lee, S. (2020). Microbial polyhydroxyalkanoates and non-natural polyesters, *Adv. Mater.* 32(35):1907138. DOI: 10.1002/adma.201907138
- Coates, G., & Jeske, R. (2010). Homogeneous Catalyst Design for the Synthesis of Aliphatic Polycarbonates and Polyesters. In *Handbook of Green Chemistry*. Edited by Paul Anastas, Germany, Wiley Online Library, Pag. 343-373. DOI: 10.1002/9783527628698
- Contreras, J., Medina, D., López-Carrasquero, F., & Contreras, R. (2013) Ring-opening polymerization of ϵ -caprolactone initiated by samarium acetate. *J Polym Res.* 20:244. DOI 10.1007/s10965-013-0244-z
- Monsalve, M., Contreras, J. (2014). Carbonatos cíclicos como monómeros: síntesis y caracterización. *Revista científica UNET.* 26(1):67-79.
- Contreras, J., Pestana, J., López-Carrasquero, F., & Torres, C. (2014). Synthesis of ϵ -caprolactone-b-L-lactida block copolymers by mean sequential copolymerization, using diphenylzinc as initiator. *Polym. Bull.* 71(7):1661-1674. DOI: 10.1007/s00289
- Contreras-Ramírez, J., & Monsalve, M. (2019). Use of samarium (III) acetate as initiator in ring-opening polymerization of trimethylene carbonate. *J. Macromol. Sci., Part A,* 56(12):1114-1120, DOI: 10.1080/10601325.2019.1658527
- Contreras-Ramírez, J., Medina, D., López-Carrasquero, F., & Contreras, R. (2019). Ring-Opening Polymerization of L-lactide Initiated by Samarium(III) Acetate. *Current Applied Polymer Science,* 3:1-8. DOI: 10.2174/2452271602666181114094536
- Contreras-Ramírez, J., & Monsalve, M. (2021). Ring-Opening Polymerization of 2,2-Dimethyltrimethylene Carbonate Using Samarium Acetate(III) as an Initiator. *Polym. Sci. B.* 6(2):94–102. DOI:
- Contreras-Ramírez, J., & Monsalve, M. (2020). Synthesis and characterization of poly(1- methyltrimethylene carbonate) (PMTMC) by mean ring opening polymerization. *Revista Bases de la Ciencia,* 5(3): 21-36. DOI: 10.33936/rev_bas_de_la_ciencia.v%vi%i.1863
- Dalton, P., Woodfield, T., & Hutmacher, D. (2009). Publisher's note: Erratum to: SnapShot: polymer scaffolds for tissue engineering. *Biomaterials,* 30(4):701-702. DOI: 10.1016/S0142-9612(08)00900-9
- Douka, A., Vouyioukaa, S., Papaspyridi, L., Papaspyrides, C. (2018). A review on enzymatic polymerization to produce polycondensation polymers: The case of aliphatic polyesters, polyamides and polyesteramides. *Prog. Polym. Sci.* 79:1-25. DOI: 10.1016/j.progpolymsci.2017.10.001
- Dutta, S., Hung, W., Huang, B., & Lin, Ch. (2012). Recent Developments in Metal-Catalyzed Ring-Opening Polymerization of Lactides and Glycolides: Preparation of Polylactides, Polyglycolide, and Poly(lactide-co-glycolide). *Adv. Polym. Sci.* 245:219-283. DOI: 10.1007/12_2011_156
- Elsawi, M., Kim, K. Park, J., Deep, A. (2017). Hydrolytic degradation of polylactic acid (PLA) and its composites. *Renew. Sust. Energy Rev.* 79:1346-1352. DOI:10.1016/j.rser.2017.05.133
- Endo, T. (2009). General Mechanisms in Ring - Opening Polymerization. In P. Dubois, O. Coulembier, y J. Raquez (Ed.), *Handbook of Ring-Opening Polymerization,* Wiley-VCH, Weinhein. Pag. 53-62. DOI: 10.1002/9783527628407.ch2
- Fukushima, K. (2016). Poly(trimethylene carbonate-based polymer engineered for biodegradable functional biomaterials. *Biomater. Sci.* 4:9-24. DOI: 10.1039/C5BM00123D
- Fukushima, K., & Nozaki; K. (2020). Organocatalysis: A Paradigm Shift in the Synthesis of Aliphatic Polyesters and Polycarbonates. *Macromolecules.* 53(13):5018–5022. s://doi.org/10.1021/acs.macromol.0c00582
- Gowda, R., & Chakraborty, D. (2010). Zinc acetate as a catalyst for the bulk ring opening polymerization of cyclic esters and lactide. *J. Mol. Catal. A-Chem.* 333(1-2):167-172. DOI: 10.1016/j.molcata.2010.10.013
- Gowda, R., Chakraborty, D., & Ramkumar, V. (2010). Aryloxy and benzyloxy compounds of hafnium: Synthesis, structural characterization and studies on solvent-free ring-opening polymerization of ϵ -caprolactone and δ -valerolactone. *Polymer,* 51(21):4750-4759. DOI: 10.1016/j.polymer.2010.08.031.
- Gowda, R., Chakraborty, D., & Ramkumar, V. (2011). Aryloxy and benzyloxy compounds of zirconium: Synthesis, structural characterization and studies on solvent-free ring-opening polymerization of ϵ -caprolactone and δ -valerolactone. *J. Organomet. Chem.* 696(2):572-580. DOI: 10.1016/j.jorganchem.2010.09.026
- Gupta, A., & Vimal, K. (2007). New emerging trends in synthetic biodegradable polymers – Polylactide: A critique. *Eur. Polym. J.,* 43:4053–4074. DOI: 10.1016/j.eurpolymj.2007.06.045
- Guillaume, S., Kirillov, E., Sarazin, Y., Carpentier, J. (2015). Beyond stereoselectivity, switchable catalysis: some of the last frontierchallenges in ring-opening polymerization of cyclic esters. *Chem. Eur. J.* 21(22):7988-8003. DOI: 10.1002/chem.201500613
- Hamad, K., Kaseem, M., Yang, H., Deri, F., Ko, Y. (2015). Properties and medical applications of polylactic acid: A review. *Exp. Polym. Lett.* 9(5) 435–455. DOI: 10.3144/expresspolymlett.2015.42
- Helou, M., Miserque, O., Brusson, J., Carpentier, J., & Guillaume, J. (2009). Poly(trimethylene carbonate) from Biomaterials-Based Initiators/Catalysts: Highly Efficient Immortal Ring-Opening Polymerization Processes. *Adv. Synth. Catal.* 351:1312 – 1324. DOI: 10.1002/adsc.200800788
- Hirao, A., Goseki, R., & Ishizone, T. (2014). Advances in Living Anionic Polymerization: From Functional Monomers, Polymerization Systems, to Macromolecular Architectures. *Macromolecules.* 47(6):1883-1905. DOI: 10.1021/ma401175m
- Honrado, M., Otero, AS., Fernández-Baeza, J., Sánchez-Barba, L., Garcés, A., Lara-Sánchez, A., & Rodríguez, A. (2016). Copolymerization of cyclic esters controlled by chiral NNO-scorpionate Zinc Initiators. *Organometallics.* 35(): 189-197. DOI: 10.1021/acs.organomet.5b00919

- Iwasa, J., Engebretsen, L., Shima, Y., & Ochi, M. (2009). Clinical application of scaffolds for cartilage tissue engineering. *Knee Surg. Sport Tr. A.* 17(6):561-577. DOI: 10.1007/s00167-008-0663-2
- Jérome, C., & Lecomte, P. (2020). Synthesis and fabrication of polyesters as biomaterials. In *Polymeric biomaterials*. Edited by S. Dumitriu and V. Popa, USA, CRC Press
- Jian, J., Xiangbin, Z., & Xianbo, H. (2020). An overview on synthesis, properties and applications of poly(butylene-adipate-co-terephthalate)-PBAT. *Advanced Industrial and Engineering Polymer Research.* 3(1):19-26. DOI:10.1016/j.aiepr.2020.01.001
- Kaluzynski, K., Pretula, J., Lewinski, P., Kaźmierski, S., & Penczek, P. (2020). Catalysis in polymerization of cyclic esters. Catalyst and initiator in one molecule. Polymerization of ϵ -caprolactone. *J. Catal.* 392:97-107. DOI: 10.1016/j.jcat.2020.09.026
- Komorowska-Durka, M., Dimitrakakis, G., Bogdał, D, Stankiewicz, A., Stefanidis, G. (2015). A concise review on microwave-assisted polycondensation reactions and curing of polycondensation polymers with focus on the effect of process conditions. *Chem. Eng. J.* 264:633-644. 10.1016/j.cej.2014.11.087
- Kricheldorf, H., & Weidne, S. (2019). About the influence of salicylic acid on tin(II)octanoate-catalyzed ring-opening polymerization of l-lactide. *Eur. Polym. J.* 119():37-44. DOI: 10.1016/j.eurpolymj.2019.07.003
- Larrañaga, A., & Lizundia, E. (2019). A review on the thermomechanical properties and biodegradation behavior polyesters. *Eur. Polym. J.* 121:109296. DOI: 10.1016/j.eurpolymj.2019.109296
- Lecomte, P., & Jérome, C. (2011). Recent developments in Ring-Opening Polymerization of lactones. *Adv. Polym. Sci.* 245:173-217. DOI: 10.1007/12_2011_144
- Lee, G., Na, J. (2013). Future of microbial polyesters. *Microb. Cell Fact*, 12(1):54-58. DOI: 10.1186/1475-2859-12-54
- Liang, Z., Zhang, M., Ni, X., Li, X., & Shen, Z. (2013). Ring-opening polymerization of cyclic esters initiated by lithium aggregate containing bis(phenolate) and enolate mixed ligands. *Inorg. Chem. Commun.* 29:145-147. DOI: 10.1016/j.inoche.2012.12.030
- Liao, L., Zhang, C., Gong, S. (2007). Rapid synthesis of poly(trimethylene carbonate) by microwave-assisted ring-opening polymerization. *Eur. Polym. J.* 43:4289-4296. DOI: 10.1016/j.eurpolymj.2007.07.009
- Liao, L., Zhang, C., & Gong, S. (2008). Preparation of poly(trimethylenecarbonate)-block-poly(ethylene glycol)-block-poly(trimethylene carbonate) triblockcopolymers under microwave irradiation. *React. Funct. Polym.* 68: 751-758. DOI: 10.1016/j.reactfunctpolym.2007.11.012
- Ling, J., Dai, Y., Zhu, Y., Sun, W., & Shen, Z. (2010). Ring-opening polymerization of 1-methyltrimethylene carbonate by rare earth initiators. *J. Polym. Sci. Part A: Polym. Chem.* 48:3807-3815. DOI: 10.1002/pola.24166
- Lyubov, D., Tolpygin, A., Trifonov, A. (2019). Rare-earth metal complexes as catalysts for ring-opening polymerization of cyclic esters. *Coord. Chem. Rev.* 39:283-145. DOI: 10.1016/j.ccr.2019.04.013
- Manavitehrani, I., Fhati, A., Badr, H., Daly, S., Shirazi, A., & Dehghani, F. (2016). Biomedical applications of biodegradable polyesters. *Polymers*, 8:20 DOI: 10.3390/polym8010020
- Martina, M., & Hutmacher, D. (2007). Biodegradable polymers applied in tissue engineering research: a review. *Polym. Int.* 56(2):145-157. DOI: 10.1002/pi.2108
- Massoumi, B., Sarvari, R., & Agbolaghi, S. (2017). Biodegradable and conductive hyperbranched terpolymers based on aliphatic polyester, poly(D,Llactide), and polyaniline used as scaffold in tissue engineering. *Int. J. Polym. Mat. Biomat. Polym.* 67(13): 808-821. DOI: 10.1080/00914037.2017.1383248
- McIntyre, J. E. (2003). The Historical Development of Polyesters. In J. Scheirs y T. E. Long (Edits.), *Modern Polyesters: Chemistry and Technology of Polyesters and Copolyesters*. John Wiley & Sons, Ltd., Inglaterra. Pag. 3-24. DOI: 10.1002/0470090685.ch1
- Medina, D., Contreras, J., López-Carrasquero, F., Cardozo E., & Contreras, R. (2017). Use of samarium(III)-amino acid complexes as initiators of ring-opening polymerization of cyclic esters. *Polym. Bull.* 75:1253-1263. DOI 10.1007/s00289-017-2089-9
- Meng, D., Shen, R., Yao, H., Chen, J., Wu, Q., & Chen, G. (2014). Engineering the diversity of polyesters. *Current opinion in biotechnology*, 29:245-33. DOI: 10.1016/j.copbio.2014.02.013
- Mespouille, L., Coulembier, O., Kawalec, M., Dove, A., Dubois, P. (2014). Implementation of metal-free ring-opening polymerization in the preparation of aliphatic polycarbonate materials. *Prog. Polym. Sci.* 39(6):1144-1164. DOI: 10.1016/j.progpolymsci.2014.02.003
- Mohamed, R., Yusoh, K. (2015). A review on the recent research of polycaprolactone. *Adv. Mater. Sci.* 1134:249-255. DOI: 10.428/www.scientific.net/amr.1134.249
- Nair, L., Laurencin, C. (2007). Biodegradable polymers as biomaterials. *Prog. Polym. Sci.* 32:762-798. DOI: 10.1016/j.progpolymsci.2007.05.017.
- Nair, N., Sekhar, V., Nmapoothiri, K., & Pandey, A. (2017). Biodegradation of biopolymers, In *Current Developments in Biotechnology and Bioengineering*, edited by A. Pandey, S. Negi & C. Soccol, Elsevier, Amsterdam, Holland. Pag. 739-755. DOI: 10.1016/B978-0-444-63662-1.00032-4
- Nakayama, Y., Sakaguchi, K., Tanaka, R., Cai, Z., & Shiono, T. (2015). Synthesis of Aliphatic Polyesters via Ring-Opening Polymerization of Macrocyclic Oligoesters. *Macromol. Symp.* 350(1):7-13. <https://doi.org/10.1002/masy.201400019>
- Ohya Y. (2014) Biodegradable Materials. In Kobayashi S., Müllen K. (eds). *Encyclopedia of Polymeric Nanomaterials*. Springer, Berlin, Heidelberg. Pag.1-8. DOI 10.1007/978-3-642-36199-9_232-1

- Park, S., Kim, T., Kim, M., Lee, S., & Lim, S. (2012). Advanced bacterial polyhydroxyalkanoates: towards a versatile and sustainable platform for unnatural tailor-made polyesters. *Biotech. Adv.* 30(6):1196-1206. DOI: 10.1016/j.biotechadv.2011.11.07
- Penczek, S., Pretula, J., & Slomkowski, S. (2021). Ring-opening polymerization. *Chem. Teacher Int.* 3(2):1-25. DOI: 10.1515/cti-2020-0028
- Phan, H., Kortsens, K., Englezou, G., Couturaud, B., Nedomay, A., Pearce, A., & Taresco, V. (2020). Functional initiators for the ring-opening polymerization of polyesters and polycarbonates: an overview. *J. Polym. Sci.* 58(14):1911-1923. DOI: 10.1002/pol.20200313
- Philipe, G., Sørensen, I., Jiao, C., Sun, X., Fei, Z., Domozych, D., Rose, J. (2020). Cutin and suberin: assembly and origins of specialized lipidic cell wall scaffolds. *Curr. Opin. Plant. Biol.* 55:11-20. DOI: 10.1016/j.pbi.2020.01.008
- Qi, C., Jia, S., Liu, G., Chen, L., Wei, X., Hu, Z., Chi, Z. & Chi, Z. (2021). Polymalate (PMA) biosynthesis and its molecular regulation in *Aureobasidium* spp. *Int. J. Biol. Macromol.* 174:512-518. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2021.02.008
- Rivera-Briso, A., & Serrano-Aroca, A. (2018). Poly(3-hydroxybutyrate-co-hydroxyvalerate): enhancement strategies for advanced applications. *Polymers.* 10(7):732. DOI: 10.3390/polym10070732
- Saito, T., Aizawa, Y., Yamamoto, T., Tajima, K., Isono, T., & Satoh, T. (2018). Alkali metals carboxylate as an efficient and simple catalyst for ring-opening polymerization of cyclic esters. *Macromolecules.* 51(3):689-696. DOI: 10.1021/acs.macromol.7b02566
- Santoro, O., Zhang, X., & Redshaw, C. (2020). Synthesis of biodegradable polymers: a review on the use of Schiff-base metal complexes as catalysts for the ring opening polymerization(rop) of cyclic esters. *Catalysts.* 10(7):800. DOI: 10.3390/catal10070800
- Syednejard, H., Ghaseemi, A., Van Nostrum, C., Vermenden, T & Hennink, W. (2011). Functional aliphatic polyesters for biomedical applications. *J. Control. Release.* 52(1):168-176. DOI: 10.1016/j.conrel.2010.12.016
- Shah, A., Kato, S., Shintani, N., Kamini, N., & Nakajima-Kambe, T. (2014). Microbial degradation of aliphatic and aliphatic-aromatic co-polyesters. *Appl Microbiol Biotechnol* 98(8):3437–3447. <https://doi.org/10.1007/s00253-014-5558-1>
- Shah, T., & Vasava, D. (2019). A glimpse of biodegradable polymers and their biomedical applications. *e-polymers.* 19(1): 385-410. DOI: 10.1515/epoly-2019-0041
- Shasteen, C., & Choi, Y. (2011). Controlling degradation rate of poly(lactic acid) for its biomedical applications. *Biomed. Eng. Lett.* 1:663. DOI: 10.1007/s13534-011-0025-8
- Shin, I., Jung, M., Kim, K., Seol, Y., Park, Y., Park, W., & Lee, S. (2010). Novel three-dimensional scaffolds of poly(L-lactic acid) microfibers using electrospinning and mechanical expansion: Fabrication and bone regeneration. *J. Biomed. Mater. Res.* 95B(1):150-160. DOI: 10.1002/jbm.b.31695
- Srichana, T., & Domb, A. (2009). *Polymeric Biomaterials.* In R. Narayan (Ed.), *Biomedical materials*, Springer, USA. pag. 83-118.
- Sudesh, K., & Doi, Y. (2005). Polyhydroxyalkanoates. In C. Bastioli (Edit), *Handbook of Biodegradable Polymers*, Rapra Technology Limited, United Kingdom. Pag. 219-227).
- Sutar, A., Maharana, T., Dutta, S., Chen, C., Lin, C. (2010). Ring-opening polymerization by lithium catalysts: an overview. *Chem. Soc. Rev.* 39(5):1724-1736. DOI:10.1039/B912806A
- Tábi, T., Sajó, I., Szabó, F., Luyt, A., Kovács, J. (2010). Crystalline structure of annealed polylactic acid and its relation to processing. *Exp. Polym. Lett.* 4(10): 659–668. DOI: 10.3144/expresspolymlett.2010.80
- Tamura, M., Matsuda, K., Nakagawa, Y., & Tomishige, K. (2018). Ring-opening polymerization of trimethylene carbonate to poly(trimethylene carbonate) diol over a heterogeneous high-temperature calcined CeO₂ catalyst. *Chem. Commun.*, 54:14017-14020. DOI: 10.1039/c8cc08405j
- Tan, C., Xiong, S., Chen, C. (2018). Fast and controlled ring-opening polymerization of cyclic esters by alkoxides and cyclic amides. *Macromolecules.* 51(5):2048-2053. DOI: 10.1021/acs.macromol.7b02697
- Tathe, A., Ghodke, M., & Nikalje, A. (2010). A brief review: biomaterials and their application. *Int. J. Pharm. Pharm. Sci.* 2(4):19-23.
- Tong, R. (2017). New chemistry in functional polyesters. *Ind. Eng. Chem. Res.*, 56(1):4207-4219. DOI: 10.1021/acs.iecr.7b00524
- Vileta, C., Sousa, A., Fonseca, A., Serra, A., Coelho, J., Freire, C., Silvestre, A. (2014). The quest for sustainable polyesters-insights into the future. *Polym. Chem.* 5:3119-3141. DOI: 10.1039/c3py01213a
- Vroman, I., & Tighzert, Lan. (2009). *Biodegradable Polymers. Materials*, 2(2): 307–344. DOI: 10.3390/ma2020307
- Washington, K., Kularatne, R., Karmegam, V., Biewer, M., Stefan, M. (2017). Recent advances in aliphatic polyesters for drug delivery applications. *WIREs Nanomed Nanobiotechnol.* 9:e1446. doi: 10.1002/wnan.1446
- Woodard, L., & Grunlan, M. (2018). Hydrolytic degradation and erosion of polyester biomaterials. *ACS Macro Lett.* 7(8):976-982. DOI: 10.1021/acsmacrolett.8b00424
- Woodruff, M., & Hutmacher, D. (2010). The return of a forgotten polymer—Polycaprolactone in the 21st century. *Prog. Polym. Sci.* 35(10):1217-1256. DOI: 10.1016/j.progpolymsci.2010.04.002
- Xiao, R., Zeng, Z., Zhou, G., Wang, J., Li, F., & Wang, A. (2010). Recent advances in PEG–PLA block copolymer nanoparticles. *Int. J. Nanomedicine.* 5: 1057–1065. DOI: 10.2147/IJN.S14912

- Xiao, L., Wang, B., Yang, G., & Gauthier, M. (2012). Poly(Lactic Acid)-Based Biomaterials: Synthesis, Modification and Applications, Biomedical Science, Engineering and Technology, Dhanjoo N. Ghista (Ed.). 247-282. DOI: 10.5772/23927
- Yang, L., Li, J., Zhang, W., Jin, Y., Zhang, J., Liu, Y., Yi, D., Li, M., Gu, J., & Gu, Z. (2015). The degradation of poly(trimethylene carbonate) implants: The role of molecular weight and enzymes. *Polym. Degrad. Stab.* 122:77-87. DOI: 10.1016/j.polymdegradstab.2015.10.016

Contribución de autores

Autor	Contribución
Jesús Miguel Contreras-Ramírez	Selección de los artículos a ser incluidos en la presente revisión bibliográfica, redacción y organización del manuscrito
Dimas Alejandro Medina	Revisión en las fuentes bibliográficas en lo que respecta a la síntesis, caracterización y aplicaciones de los poliésteres derivados de lactonas.
Meribary Monsalve	Revisión en las fuentes bibliográficas en lo que respecta a la síntesis, caracterización y aplicaciones de los policarbonatos derivados de los carbonatos cíclicos

Citación sugerida: Contreras, J., Medina, D., Monsalve, M. (2021). Poliésteres como biomateriales. una revisión. *Revista Bases de la Ciencia*, 6(2), 113-136. DOI: https://doi.org/10.33936/rev_bas_de_la_ciencia.v%vi%i.3156 Recuperado de: <https://revistas.utm.edu.ec/index.php/Basedelaciencia/article/view/3156>



ALMIDONES DE CÁSCARA DE YUCA (MANIHOT ESCULENTA) Y PAPA (SOLANUM TUBEROSUM) PARA PRODUCCIÓN DE BIOPLÁSTICOS: PROPIEDADES MECÁNICAS Y EFECTO GELATINIZANTE

Carla Virginia Vélez Martínez^{1*}, Xiomara Soledad Zambrano Murillo², María Hipatia Delgado Demera³, Gabriel Alfonso Burgos Briones⁴, Carlos Alfredo Cedeño Palacios⁵

¹Egresada de la Carrera de Ingeniería Química, Universidad Técnica de Manabí. Ecuador. E-mail: cvelez9539@utm.edu.ec

²Egresada de la Carrera de Ingeniería Química, Universidad Técnica de Manabí. Email: xzambrano7144@utm.edu.ec

³Médico Veterinario, Máster en Alimentos, Doctor en Ciencias Veterinarias, Departamento de Ciencias Veterinarias, Facultad de Ciencias Veterinarias, Universidad Técnica de Manabí. Email: hipatia.delgado@utm.edu.ec

⁴Ingeniero Químico, Máster en Sistemas Integrados de Gestión, Departamento de Procesos Químicos, Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas, Universidad Técnica de Manabí. Email: gabriel.burgos@utm.edu.ec

⁵Ingeniero Agroindustrial, Máster en Procesamiento de Alimentos, Doctor en Ciencias Agrarias, Departamento de Procesos Químicos, Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas, Universidad Técnica de Manabí. E-mail: alfredo.cedeno@utm.edu.ec

*Autor para la correspondencia: cvelez9539@utm.edu.ec

Recibido: 25-03-2020 / Aceptado: 20-07-2021 / Publicación: 30-08-2021

Editor Académico: Jorge Luis López Terán¹

RESUMEN

Los productos biodegradables basados en materias primas agrícolas ocupan un gran espacio en las investigaciones para el desarrollo y mejoramiento de bioplástico a base de almidón que presentan propiedades similares a los plásticos convencionales. El objetivo de este trabajo consistió en describir la gelatinización y propiedades mecánicas de bioplásticos extraídos de almidones tanto de cáscaras de yuca (*Manihot esculenta*) como de cáscaras de papa (*Solanum tuberosum*). A partir de una revisión bibliográfica literaria complementada con aproximadamente 86 artículos científicos se logró comprobar que la gelatinización de estos residuos en función de sus propiedades fisicoquímicas y funcionales, mejoran sus propiedades mecánicas, además la adición de sustancias poliméricas sintéticas y naturales, plastificantes, materiales de relleno, aditivos, agentes acoplantes, agentes desestructurantes y agua otorgaron las propiedades mecánicas necesarias para trabajar como un termoplástico. Si bien ambos almidones presentan propiedades mecánicas viables para la elaboración de biopolímeros, se logra concluir que el almidón de cáscara de papa puede alcanzar un bioplástico con mejores propiedades mecánicas debido a que presenta gránulos más esféricos y regulares, los cuales pueden formar estructuras moleculares más estables, así como su alto contenido de amilosa favorece en la gelatinización y logra que la fuerza de tensión presente un incremento en comparación al almidón de cáscara de yuca.

Palabras clave: Almidón, gelatinización, papa, propiedades mecánicas, yuca.

YUCCA (MANIHOT ESCULENTA) AND POTATO (SOLANUM TUBEROSUM) HUSK FLOURS FOR PRODUCTION OF BIOPLASTICS: MECHANICAL PROPERTIES AND GELATINIZING EFFECT

ABSTRACT

Biodegradable products based on agricultural raw materials occupy a large space in research for the development and improvement of starch-based bioplastics that have properties similar to conventional plastics. The objective of this work was to describe the gelatinization and mechanical properties of bioplastics extracted from starches both from cassava peels (*Manihot esculenta*) and potato peels (*Solanum tuberosum*). From a literary bibliographic review complemented with approximately 86 scientific articles, it was possible to verify that the gelatinization of these residues based on their physicochemical and functional properties, improves their mechanical properties. Moreover, the addition of synthetic and natural polymeric substances, plasticizers, fillers, additives, coupling agents, destructuring agents, and water will give the necessary mechanical properties to work as a thermoplastic. Although both starches have viable mechanical properties for the production of biopolymers, it is possible to conclude that potato peel starch can achieve a bioplastic with better mechanical properties due to the fact that it presents more spherical and regular granules, which can form more stable molecular structures; as well as, its high amylose content favors gelatinization and achieves an increase in the tensile strength compared to cassava shell starch.

Keywords: Gelatinization, mechanical properties, yucca, potato, starch.

AMIDOS DE CASCA DE MANDIOCA (*MANIHOT ESCULENTA*) E BATATA (*SOLANUM TUBEROSUM*) PARA PRODUÇÃO DE BIOPLÁSTICOS: PROPRIEDADES MECÂNICAS E EFEITO GELATINIZANTE

RESUMO

Os produtos biodegradáveis à base de matérias-primas agrícolas ocupam um grande espaço nas pesquisas para o desenvolvimento e aprimoramento de bioplásticos à base de amido que apresentam propriedades semelhantes aos plásticos convencionais. O objetivo deste trabalho foi descrever a gelatinização e as propriedades mecânicas de bioplásticos extraídos de amidos, tanto de cascas de mandioca (*Manihot esculenta*) como de cascas de batata (*Solanum tuberosum*). A partir de uma revisão bibliográfica literária complementada com aproximadamente 86 artigos científicos, foi possível verificar que a gelatinização desses resíduos com base em suas propriedades físico-químicas e funcionais melhora suas propriedades mecânicas, além da adição de substâncias poliméricas sintéticas e naturais, plastificantes, cargas, aditivos, agentes de acoplamento, desestruturantes e água darão as propriedades mecânicas necessárias para funcionar como termoplástico. Embora ambos os amidos tenham propriedades mecânicas viáveis para a produção de biopolímeros, é possível concluir que o amido de casca de batata pode atingir um bioplástico com melhores propriedades mecânicas devido ao fato de apresentar grânulos mais esféricos e regulares, podendo formar estruturas moleculares mais estáveis. Além disso, seu alto teor de amilose favorece a gelatinização e atinge um aumento na resistência à tração em comparação ao amido de casca de mandioca.

Palavras chave: Gelatinização, propriedades mecânicas, mandioca, batata, amido.

1. INTRODUCCIÓN

El uso de polímeros naturales, es una opción ecológica ante la problemática que se genera por la bioacumulación de plásticos, los cuales inhiben el normal funcionamiento de los ecosistemas al incorporar aditivos químicos o contaminantes hidrofóbicos en la cadena trófica (Araujo *et al.*, 2006). En el mundo se producen aproximadamente 3,5 billones de toneladas de desechos de la agricultura (Sadh, 2018). Estos desechos representan un desafío ambiental y tienen altos costos de disponibilidad, según Jin y Col (2010).

En Ecuador existe una amplia gama de materias primas disponibles para la producción de bioplásticos, como los productos amiláceos procedentes de raíces y tubérculos; dentro de las raíces, la yuca es una alternativa relevante para la fabricación de componentes amigables con el ambiente, por su alta disponibilidad, bajo costo y su elevado contenido de almidón (Villada *et al.*, 2008; Corozo *et al.*, 2020). De este modo, se aprovecha la cáscara de yuca que es considerada como producto potencial en la obtención de bioplásticos, la cual inclusive presenta un almidón que se ha emplea combinado con quitosano y sorbitol como plastificante, percatándose variaciones en las propiedades mecánicas, en dependencia de las formulaciones (Fathanah *et al.*, 2013).

La papa, en sus diferentes variedades, es un insumo estudiado por su alto contenido de almidón, su elevado nivel de producción y las buenas características que posee, como la relación amilosa/amilopectina parámetro que define el tiempo de degradación de este biomaterial (Kolawole *et al.*, 2020; Domínguez *et al.*, 2012). Así mismo, la cáscara de papa contiene cantidades suficientes de almidón, celulosa, hemicelulosa y azúcares fermentables que garantizan su uso (Lese *et al.*, 2018; Arapoglou *et al.*, 2010); en investigaciones realizadas, el bioplástico de este residuo refleja propiedades físicas y mecánicas similares a los plásticos tradicionales como el polietileno, polipropileno, ABS, PET, entre otros (García, 2016).

En productos elaborados de almidón, el proceso de gelatinización produce efectos tales como: redes más sólidas y estables térmicamente, distribución homogénea de la amilosa y amilopectina, mayor grado de cristalinidad y disminución en la permeabilidad al vapor de agua (Flores *et al.*, 2007). La modificación física del almidón mediante gelatinización aumenta la termoplastificación de matrices obtenidas a partir de almidón, esta modificación puede incrementar las propiedades mecánicas de los productos en cuanto a resistencia a la tensión, resistencia a la flexión, deformación y rigidez (Ramírez, 2011). Las propiedades mecánicas del bioplástico son descritas a cómo responde el material al aplicar una carga o fuerza y consisten principalmente en su composición, así como en su estructura molecular (Navia *et al.*, 2013). Con base en lo señalado y partiendo de la necesidad de incorporar nuevos materiales que satisfagan la demanda del mercado con respecto a calidad y las exigencias ecológicas

en la actualidad, se realizó el presente trabajo a partir de una revisión bibliográfica para describir la gelatinización y las propiedades mecánicas que aportan las materias primas renovables como el almidón de yuca y papa, ofreciendo varias ventajas como el bajo costo de sustratos y bajo consumo de energía para la elaboración de bioplásticos.

2. DESARROLLO

2.1. Almidones de cáscara de yuca y papa

Existen diferentes variedades de papa en el mundo y en el caso de Ecuador, según el Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (Cuesta, 2012) se encuentran representantes de *S. tuberosum* y *S. phureja*. Sin embargo, otras especies silvestres, especialmente *S. demissum* y *S. vertifolium*, aportan también líneas parentales de las variedades actuales. La cáscara de la papa considerada "sin valor" en la industria tiene un abundante contenido de almidón, un polvo fino y sin sabor, con mayor viscosidad que los almidones de trigo o de maíz, y permite elaborar productos más suaves al paladar (Camacho, 2020). Este almidón se usa para la repostería en general y para la producción de bioplásticos, y puede ser obtenido de *S. tuberosum* L., aprovechando el valor de un residuo agrícola (Rivera & Nevárez, 2009; Huang *et al.*, 2006).

En las zonas montañosas de Ecuador se encuentran dos tipos de variedades de yuca, amarga (*M. utilissima*) y dulce (*M. aipi. S*) (Cárdenas *et al.*, 2013); a partir de las cuales se pueden obtener almidones procesando sus cáscaras (Rendón *et al.*, 2012). La yuca está en transición de un alimento básico con almidón a una materia prima para alimentos y otras industrias. Además, la yuca está disponible en cualquier temporada y durante el proceso de deshidratación tiene una pérdida mínima de sustancias nutritivas. En tal sentido, el almidón de yuca se considera una materia prima con factibilidad para su utilización en la producción de bioplásticos (Martínez *et al.*, 2007). El avance de la tecnología y la necesidad de generar nuevas alternativas para producir bioplásticos ha llevado a los científicos a estudiar estos residuos alimentarios (Bou, 2015).

2.2. Gelatinización

Es un proceso irreversible en el cual existe una transición de fase sol-gel, donde se presenta la pérdida de semicristalización de los granos de almidón en presencia de calor y altas cantidades de agua con muy poca o ninguna despolimerización (Teyssandier *et al.*, 2011). A lo largo de la gelatinización el agua tiende a penetrar en un principio en las regiones amorfas originando el hinchamiento y una disminución de cristalinidad por el desarrollo de las dobles hélices, hasta que ocurre una fragmentación de los gránulos casi por completo.

Como expresa Ceballos y De la Cruz (2012), la gelatinización ocurre en un rango estrecho de temperaturas que varía dependiendo de la fuente del almidón, para la yuca el rango establecido por Techeira et al. (2015), se encuentra dentro de 60°C - 70°C, y para la papa según Acosta *et al.* (2018) entre 56°C - 67°C. Por otra parte, Teyssandier *et al.* (2011) agrega que los tiempos de gelatinización son inversamente proporcional a la concentración de almidón. En tanto más rigidez exista, se da una mayor resistencia, esto se produce debido al choque entre los gránulos hinchados, lo que genera una alta viscosidad (Cajiao *et al.*, 2016). En tales circunstancias, al adicionar más calor, el agua reservada desintegra la estructura ordenada de los gránulos, y la amilosa comienza a difundirse formando un gel que finalmente soporta los gránulos compuestos ante todo por amilopectina. Bajo este contexto, se buscó estudiar las propiedades fisicoquímicas y funcionales del almidón extraído de la yuca y papa con la posibilidad de analizar y comparar con estudios previos. A continuación, se presentan los más relevantes en la **Tabla 1**.

Tabla 1. Características fisicoquímicas de almidones de yuca y papa

Almidón	Tipos	Almidón%	pH	Amilosa%	Amilopectina%	Referencias
Yuca Blanca (<i>M. aipi. S</i>) Amarilla (<i>M.utilissima</i>)	Blanca	72,37	6,10	28,25	71,75	Techeira <i>et al.</i> , 2015
	Amarilla	77,49	6,34	31,28	63,00	
	Blanca	89,57	6,23	30,73	69,27	García <i>et al.</i> , 2012
	Amarilla	98,5	6,12	23,00	77,00	Granados <i>et al.</i> , 2014
	Blanca	35,08	5,80	21,61	78,39	Román <i>et al.</i> , 2015
	Amarilla	13,74	5,89	14,23	75,35	Rivier <i>et al.</i> , 2010
	Criolla	65,29	5,70	29,98	70,02	Techeira <i>et al.</i> ,2015
Papa Criolla (<i>S. phureja</i>) Parda (<i>S. tuberosum</i> <i>L</i>)	Parda	65,59	6,24	37,80	63,00	Hernández <i>et al.</i> , 2008
	Criolla	70,49	5,38	21,00	79,00	
	Parda	22,05	6,35	15,62	53,09	Zárate <i>et al.</i> , 2014
	Criolla	37,90	6,65	23,39	66,61	Román <i>et al.</i> ,2015
	Parda	13,30	6,54	24,00	70,65	Alvis <i>et al.</i> , 2008

Fuente: Elaboración propia.

Techeira *et al.* (2015) argumenta que el almidón de papa presenta hasta un 37,80 % de amilosa, comparado con el almidón de yuca que presenta entre 14,23 % a 30,73 % (Meneses, 2007). Medina y Salas (2008) reportan que los gránulos de almidón de papa son más esféricos y regulares que los de

otros almidones como yuca y maíz, indicando que este tipo de almidón puede formar estructuras moleculares más estables, esta condición puede reflejarse en una mayor fuerza de ruptura en las películas obtenidas. El almidón de papa tiene gránulos de mucho mayor tamaño con un promedio de 15,22 - 18,30 μm (Pardo *et al.*, 2013; Medina y Salas 2008) a diferencia del gránulo de la yuca 10,38 a 16,5 μm (Silovi *et al.*, 2013 ;Alvis *et al.*, 2008), por lo cual el tamaño de los gránulos del almidón muestra una relación con la proporción amilosa/amilopectina y pueden llegar a tener más capacidad de absorción de agua y su estructura permite la mejor incorporación de moléculas de plastificante y agua en la formación de película (Lopez *et al.*, 2017; Barragán *et al.*,2016). Un alto contenido en amilosa que se presenta en el almidón de yuca provoca mayor fuerza de atracción entre los granos de almidón, esto impide la penetración de agua dentro de los gránulos, retrasando lógicamente el proceso de gelatinización durante el proceso de extrusión y determinación de las propiedades funcionales (Maré, 2009; Solarte, 2019).

2.3. Propiedades Funcionales de la yuca y papa

Las propiedades funcionales de los almidones dependen de la relación amilosa/amilopectina, biopolímeros de diferente estructura molecular que constituyen casi la totalidad del gránulo (Hernández *et al.*, 2008). La absorción de agua y el hinchamiento de los compuestos termoplásticos a base de almidón es importante en ambientes acuosos o húmedos porque estas propiedades determinan su integridad y desempeño (Ramírez, 2011). A continuación, se presenta en la Tabla 2 las propiedades funcionales de los almidones de la papa y yuca que dependen de su naturaleza, morfología y estructura. (Mali *et al.*, 2004; Mishray Rai, 2006; Patel y Seetharaman, 2006; Kaur *et al.*, 2007)

Tabla 2. Propiedades funcionales de almidón de yuca y papa.

Almidón	Tipos	Temperatura de gelatinización	%Índice de solubilidad (ISA)	% Índice de absorbancia (IAA)	% Poder de Hinchamiento (PH)	Referencia
Yuca	Blanca	62,83	3,01	11,09	11,22	García, <i>et al.</i> , 2012
Blanca (M. aipi. S)	Amarilla	60,68	16,50	19,85	27,18	Hernández <i>et al.</i> , 2008
Amarilla (M. utilissima)	Blanca	65	10,00	5,12	7,04	Techeira <i>et al.</i> , 2015
	Amarilla	70	16,02	19,0	18,05	
Papa Criolla (Solanum phureja)	Criolla	76,33	0,92	1,72	1,73	Murillo, 2021
	Parda	76,67	2,91	1,91	1,93	
	Criolla	65,25	9,37	3,709	4,55	

Parda (<i>Solanum tuberosum</i> L)	Parda	68,4	1,52	3,401	3,63	Acosta <i>et al.</i> , 2012.
	Criolla		7,5	11,8	12,7	
	Parda	60	4,8	10,6	11,1	Martinez, 2015

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados obtenidos muestran que el almidón de papa tiene más baja solubilidad, en relación a la yuca (**Tabla 2**). Este comportamiento también puede deberse al tamaño del gránulo y la organización supramolecular de los componentes del almidón amilosa/amilopectina (Medina, 2010). Con respecto al índice de absorbancia, los almidones de papa presentan una mayor diferencia con respecto a los de yuca es posible que se deba al menor contenido de amilopectina presente en los almidones de papa (Hwang & Kokin, 2013; Cabero, 2016; Alvis, 2008). El poder de hinchamiento de los almidones es una propiedad de su contenido de amilopectina, siendo la amilosa un diluyente e inhibidor del hinchamiento (Garnica, 2010). Debido a lo anterior, el almidón de yuca presenta mayor poder de hinchamiento.

2.4. Propiedades mecánicas

Las propiedades mecánicas de un material revelan la relación que existe entre las fuerzas aplicadas y la respuesta a la misma. Por tanto, es fundamental entender las características del material antes de ser manipulado a la deformidad excesiva que exponga la integridad física del mismo. De acuerdo con Acosta, *et al.*, (2006), los bioplásticos procedentes del almidón de yuca presentan propiedades mecánicas reducidas debido a su semicristalinidad y rápida retrogradación. Del mismo modo Ponce y Guerrero (2014), enfatizan que, al no exponer el almidón a condiciones de humedad (como estar disuelto en agua), genera que las propiedades mecánicas disminuyan, provocando grietas y fragilidad en el material.

El almidón de papa es una de las materias primas más utilizadas en la industria de los bioplásticos, esto debido a sus características de baja temperatura de gelatinización (Pardo *et al.*, 2013). Las propiedades mecánicas del almidón tanto de yuca como de papa en cuanto a resistencia y flexibilidad, dependen de la región cristalina, la cual a su vez depende de la proporción entre amilosa y amilopectina del polisacárido (Ruiz, 2006).

Para hacer posible la fabricación de un polímero a partir de almidón de la cáscara de papa y yuca, es necesario aportar diferentes reactivos a la mezcla y garantizar ciertas condiciones que permitan su

obtención. Los bioplásticos requieren componentes que aporten características de humectación, plasticidad, lubricación, extensión y resistencia, entre otros (Meneses, 2007).

2.5. Procesamiento

Para desarrollar biopolímeros, la materia prima en el caso de almidón de papa ya sea criolla o parda y yuca amarilla o blanca, deben añadirse diversos tipos de hidroxácidos aromáticos o alifáticos, ésteres de celulosa, poliésteres (lactonas), ácidos bicarboxílicos alifáticos (ácido maleico, fumárico, y otros), poliuretanos, entre otros. Se usan también materiales poliméricos como poliésteres aromáticos, poliesteramidas (Paredes *et al.*, 2017; Lorcks, 2011). Según Favis (2006), reporta el uso de polímeros sintéticos como polietilenvinil alcohol, ácido polietileno-coacrílico, acetato de polivinilo y acetato de etilenvinilo. Entre los más comunes se encuentran el ácido poliláctico y la policaprolactona para garantizar ciertas condiciones que optimicen el producto final y sus propiedades mecánicas (Cardona, 2013). La gelatinización cumple una función específica, en pro de mejorar diversas propiedades como las mecánicas, entre otras. Para la gelatinización del almidón de cáscara de yuca y papa se encontraron diversos métodos para la obtención de bioplásticos entre los cuales se destaca el de Navia *et al.* (2015), donde utilizan la técnica de termo-compresión para la obtención de los bioplásticos haciendo ensayos con dos tratamientos diferentes a las materias primas que son harina de yuca gelatinizada (HG) y harina de yuca sin gelatinizar (HSG) ambas mezcladas con fibra de fique y glicerol. Para la evaluación de las pruebas de tensión y flexión se utiliza un texturómetro (Shimadzu, EZ Test L, Japón), equipado con una celda de carga de 500 N.

De acuerdo a Enríquez *et al.* (2012), las formas de procesamiento más comunes de las películas biodegradables basadas en almidón son moldeo, extrusión y prensado. Para efectuar el moldeo, el almidón y otros componentes como el plastificante y algunos polímeros se dispersan en una cantidad de agua de 5 a 15 veces el peso del almidón de papa y la suspensión resultante se calienta con agitación constante, se moldea como película y se seca de manera adecuada.

El calentamiento se hace con el fin de gelatinizar el almidón, fundir otras sustancias y remover burbujas que pueden afectar la calidad final de la película. Posteriormente, se efectúa el secado. En la operación de extrusión, el almidón se mezcla con el agua y el plastificante hasta formar una matriz que sea procesable, y que pueda ser mezclada con otros polímeros. Se hace el calentamiento de las diversas zonas del barril y el compuesto es extruido a través de un dado, en forma de ranura, a temperaturas necesarias entre 60 y 70 °C para lograr la gelatinización del almidón. En el proceso de prensado, una mezcla de los componentes, preferiblemente almidón, plastificante y polímeros, se pasa a través de un molino para caucho, la mezcla resultante se lamina en hojas delgadas o películas. De modo que la extrusión es la técnica más empleada debido a que permite ejecutar varias operaciones

tales como mezclado, compresión, calentamiento, moldeo, soplado, entre otras, facilitando así la gelatinización de almidón (Zárate *et al.*, 2011).

Los procedimientos efectuados por Ortíz *et al.* (2013), Mata y Vásquez (2014), en donde se realiza pruebas experimentales preliminares, variando las diferentes concentraciones de almidón (como materia principal), agua (hidratante y plastificante), glicerol (plastificante) y ácido clorhídrico (modificador químico). El procedimiento consiste en agitar hasta llegar a una mezcla homogénea que se mantiene a una temperatura ambiente, luego se eleva a una temperatura máxima de hasta 80°C para que proceda la gelatinización del almidón con un tiempo de producción entre 10 y 20 minutos.

Alarcón y Arrollo (2016), enfatizan que la experiencia se realizó utilizando almidón sin modificar (almidón natural sin tratamiento), y almidón modificado químicamente con ácido acético para reemplazar el grupo hidroxilo de las moléculas del almidón, por algún grupo éster o éter; utilizando la muestra tratada con ácido acético ya que esta alcanzó la mayor cantidad de amilosa. Teniendo en cuenta que se deben controlar las condiciones en cada etapa del proceso se diseña un biorreactor, que de manera automática mantiene las condiciones del proceso de manera óptima. Cuando la mezcla llega a los 70°C empieza la gelatinización la entre un tiempo de 8 a 12 minutos, mejorando las pruebas mecánicas, los resultados de su estudio muestran que el almidón modificado presenta favorables propiedades mecánicas por la adición ácido acético al 5%, debido a que mejora la relación de amilosa y amilopectina 61,76% y 38,28 respectivamente. García (2016)

López (2017), plantea que para la evaluación de propiedades mecánicas en las películas elaboradas con tres materiales (almidón de yuca, papa y suero de leche), se emplea el manejo de agua destilada de ingrediente base y glicerol como plastificante (Mukuze, 2019).

La disolución se lleva con un tratamiento térmico hasta la gelificación y luego se moldea en cajas Petri de vidrio para llevar a secado. La gelificación se dio a temperatura de 60°C por 20 min y el secado se realiza a 65°C en 8 horas en una estufa al vacío. Para la evaluación de las propiedades mecánicas de películas biodegradables el procedimiento se efectúa de acuerdo a la norma ASTM D882-10. Por lo que se refiere a las propiedades mecánicas se lleva a efecto la comparación entre la yuca y papa en la **Tabla 3** que corroboran con las pruebas de elongación y tracción luego de efectuar su elaboración.

Tabla 3. Propiedades mecánicas de películas biodegradables de almidón de yuca y papa

Almidón	Espesor Película (mm)	Esfuerzo Máximo a la ruptura (N)	Elongación %	Elasticidad (Mpa)	Referencias
Papa	0,16	6,07	14,38	2,37	Alarcón <i>et al.</i> , 2016
	0,339	3,95	25,75	3,32	López <i>et al.</i> , 2017
	0,16	8,33	44,76	2,57	Sánchez & Ramos, 2019
	0,24	12,36	42,49	5,08	Alarcón & Arrollo, 2014
Yuca	0,119	10,33	41,32	13,39	Souza <i>et al.</i> , 2009
	0,564	5,85	67,03	8,23	González, <i>et al.</i> , 2009
	0,321	13,1	71,06	23,43	Montilla <i>et al.</i> , 2014
	0,340	11,6	78,11	18,76	Ramírez, 2013

Fuente: Elaboración propia.

Las propiedades mecánicas desempeñan un papel fundamental en la elaboración de bioplásticos, en virtud a lo mencionado de acuerdo a la literatura revisada los autores (López *et al.*, 2017; Sánchez y Ramos., 2019; Alarcón *et al.*, 2016; Alarcón y Arrollo., 2014); obtienen en sus estudios experimentales que las propiedades mecánicas fueron inferiores en sus módulos de elasticidad y esfuerzo máximo a los plásticos convencionales. Para lo cual el esfuerzo máximo a la ruptura se presenta entre 3,95 y 12,36 Mpa a diferencia de los plásticos tradicionales estudiados por (Franco y MasPOCH, 2017; Acosta, 2001) que varían entre 42,2 a 124,1 Mpa. Sin embargo, los valores de elongación de los bioplásticos elaborados a partir de papa corresponde a valores de 14,38 a 44,76 Mpa que son comparables con los plásticos tradicionales con valores de 15,5, 27,01 y 50,45 Mpa, según (Narváez, 2016; Nieto, 2016; Acosta, 2001). Mientras tanto (Souza *et al.*, 2019; Gonzalez *et al.*, 2009; Montilla *et al.*, 2014; Ramirez & Quintero., 2013); en sus experimentaciones utilizaron almidón de cáscara de yuca obtienen en sus resultados valores de elasticidad de 13,39 y 18,76 Mpa mayores al esfuerzo máximo a la ruptura que son 10,33 y 13,1 Mpa los cuales son más bajos que los valores de la elasticidad de los plásticos convencionales.

En relación con lo que se menciona en ciertas investigaciones han argumentado que al realizar técnicas de procedimiento que incluyan calor y presión, ocasionan modificaciones en la estructura del material bioplásticos, que no favorecen su desempeño mecánico. Enmarcando en el tema, se ha reportado que al trabajar con materiales a los que se le extrae almidón en este caso yuca y papa, las temperaturas mayores a 70°C pueden desnaturalizar las proteínas las cuales crean acumulaciones con

el almidón gelatinizado causando concentración de la capacidad de resistencia mecánica en algunos puntos del material, debilitando las zonas restantes, en consecuencia, disminuyendo la tensión (Espinel y López, 2009).

Simultáneamente en los sistemas de mezclas con base en el almidón de yuca o papa, uno de los factores más importantes que afectan las propiedades mecánicas es la afinidad interfacial con la matriz de polímero, las cuales pueden mejorarse con la gelatinización del almidón (Park, 2015; Cajiao, 2016).

Flores et al. (2007), argumentan que, en productos elaborados con almidón, el proceso de gelatinización produce efectos tales como: redes más sólidas y estables térmicamente, distribución homogénea de la amilosa y amilopectina, mayor grado de cristalinidad y disminución en la permeabilidad al vapor de agua. Adicionalmente, la gelatinización permite la formación de redes con fuertes uniones intermoleculares, se reduce la tendencia a la retrogradación y se presenta una menor velocidad de absorción de agua (Tako *et al.*, 2012).

Las diferencias entre los tipos de almidones con respecto a su estructura (tamaño, forma, presencia de poros, canales y cavidades) son reconocidas; debido a que éstas atienden a su origen botánico e inciden en sus propiedades funcionales. (Sivolí, 2012; Martínez et al., 2019).

Domínguez & Jiménez (2012), señalan que de la cantidad contenida de amilosa se atribuye en mayor cantidad al almidón de papa frente al almidón de yuca, esto refleja que un biopolímero fabricado con este almidón presenta mejor gelatinización y por ende mejores propiedades mecánicas como lo son elongación, elasticidad y esfuerzo a la ruptura.

Aristizábal & Sánchez (2007) manifiestan que una alta absorción, una baja solubilidad y un alto poder de hinchamiento, son muestras de una buena calidad de los almidones, por ende, favorecerá en la gelatinización. Saibene & Seetharaman (2010) señalan que factores como el tamaño del gránulo y contenido amilosa/amilopectina pueden influenciar el poder de hinchamiento del gránulo de almidón. El poder de hinchamiento de los gránulos de almidón en las células es a menudo un factor que incide en la ruptura de éstas, este parámetro permite observar el incremento del tamaño de gránulo por efecto de la expansión relacionándose con la capacidad de absorción de agua de cada gránulo (Rivas et al, 2009), evidenciándose que, al aumentar gradualmente la temperatura, se produce también el incremento del poder de hinchamiento (Anderson *et al.*, 2012).

Según De la Torre et al. (2008); Adebawale *et al.* (2008) y Anderson et al. (2012), un alto contenido de amilosa produce un bajo poder de hinchamiento, por lo que requieren de mayor temperatura para que los enlaces de hidrógeno se rompan en las áreas amorfas, provocando un proceso irreversible,

contribuyendo así, a la absorción progresiva del agua en los gránulos de almidón. Para esto Acosta (2012), indica que las propiedades funcionales proporcionan al bioplástico resistencia mecánica y flexibilidad además se debe tener en cuenta que los almidones ricos en amilosa, poseen una mayor capacidad de moldeo y gelificación, en caso contrario el almidón se torna espeso, pero no gelifica.

3. CONCLUSIONES

Los almidones obtenidos de la yuca (*Manihot esculenta*) y la papa (*Solanum tuberosum*) presentan similitudes en sus propiedades fisicoquímicas; sin embargo, el almidón de cáscara de papa muestra una mejor absorción de agua por su alto contenido de amilosa que a la vez favorece la gelatinización, y sus propiedades funcionales: (índice de solubilidad, índice de absorción y poder de hinchamiento), mejorando las propiedades mecánicas. Por otra parte, las propiedades mecánicas del almidón de cáscara de yuca presentan poca resistencia a la ruptura en relación con su módulo de elasticidad, con respecto al almidón de cáscara de papa y los plásticos tradicionales.

Las cáscaras de ambos tubérculos pueden utilizarse como materia prima para el desarrollo de los bioplásticos, siendo el almidón de papa (*S. tuberosum*) el producto que permite obtener mejores resultados; no obstante, se recomienda una investigación en la que se busquen opciones en cuanto a los aditivos utilizados para la producción de los biopolímeros, ya que estos aportan mejores propiedades mecánicas y de gelificación al producto.

4. REFERENCIAS

- Acosta, H., Villada, H., & Prieto, P. (2006). Envejecimiento de almidones termoplásticos agrios de yuca y nativos de papa por microscopía de fuerza atómica. *Información Tecnológica*, 17, 71-78. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642006000300011>
- Acosta, J (2001). Fracturas de materiales poliméricos a altas temperaturas de sollicitación. Tesis de grado de ingeniería metalúrgica. Universidad politécnica de Catalunya. Barcelona.
- Acosta, J. (2018). Evaluación del almidón de papa (*Solanum tuberosum*) en la obtención de bioplástico. *Bionatura: Latin American Journal of Biotechnology and Life Sciences*, 1, 1-12. <http://dx.doi.org/10.21931/RB/CS/2018.01.01.2>
- Acosta, G., Fandiño, P., & Ante, L. (2012). Extracción y propiedades funcionales del almidón de yuca, manihot esculenta, variedad, como materia prima para la elaboración de películas comestibles. *Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 11(1). <https://doi.org/10.24054/16927125.v1.n1.2013.382>
- Adebowale, A., Sanni, S., & Oladapo, F. (2008). Chemical, Functional and Sensory Properties of Instant Yam - Breadfruit Flour. *Nigerian Food Journal*, 26(1). <http://doi.org/10.4314/nifoj.v26i1.47417>
- Alarcon, C & Arrollo, E. (2014). Obtención de biopolímeros de papa como una alternativa al desarrollo de materiales inocuos al medio ambiente. *Revista Técnica*, 24(1):1-7.
- Alarcón, C. & Arrollo, E. (2016). Evaluation of chemical and mechanical properties of biopolymers by modified potato starch. *Rev. Soc. Quím. Perú*. 82(3), 315-323. <http://www.scielo.org.pe/pdf/rsqp/v82n3/a07v82n3.pdf>
- Alvis A., Vélez, C., Villada, H., & Rada, M. (2008). Análisis Físico-Químico y Morfológico de Almidones de Ñame, Yuca y Papa y Determinación de la Viscosidad de las Pastas. *Información tecnológica*. 19(1), 19 – 28. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642008000100004>
- Anderson, R., Conway, H., & Peplinski, A. (2012). Gelatinization of corn grifts by roll and extrusion cooking, extrusion Cooking and Steaming. *Cereal Science Today*, 22(4), 130 - 135. <https://doi.org/10.1002/star.19700220408>
- Arapoglou, D., Varzakas, T., Vlyssides, A., & Israelides., C. (2010). Ethanol production from potato peel waste (PPW). *Waste Management*, (30), 1898-1902. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2010.04.017>

- Araujo, C., Rincón, A & Padilla, F. (2006). Caracterización del almidón nativo de *Dioscorea bulbifera* L. Archivos latinoamericanos de nutrición, 54(2), 241-245. <https://alanrevista.org/ediciones/2004/2/art-16.pdf>
- Aristizábal, J., & Sánchez, T. (2007). Guía Técnica para la Producción y Análisis de Almidón de Yuca. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), Roma, Italia. <http://www.fao.org/3/a1028s/a1028s.pdf>
- Barragán, K., Salcedo, J., & Figueroa, J. (2016). Propiedades tecnofuncionales de almidón modificado de yuca (*Manihot esculenta* C.) por pregelatinización tipo batch. Agron. Colomb, (1), 317-320. <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.sup.2016n1.58034>
- Bou, L., Vizcarrondo, A., Rincón, M., & Padilla, F. (2015). Evaluación de harinas y almidones de mapuey (*Dioscorea trifida*), variedades blanco y morado. Archivos Latinoamericanos de Nutrición, 56 (4), 375-383. <https://www.alanrevista.org/ediciones/2006/4/art-10/>
- Cajiao, E., Bustamante, L., Cerón, A., & Villada, H. (2016). Efecto de la gelatinización de harina de yuca sobre las propiedades mecánicas, térmicas y microestructurales de una matriz moldeada por compresión. Información tecnológica, 27(4), 53-62. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642016000400006>
- Camacho, H., Campos, D., Mercado, I., & Cubillán, N. (2020). Uso de las cáscaras de papa (*Solanum tuberosum* L) en la clarificación del agua de la Ciénaga de Malambo, 8(1), 100-111. <https://doi.org/10.17081/invinno.8.1.3572>.
- Cárdenas, F., & Hinojosa, F. (2013). El proyecto yuca en Ecuador. Revista Informativa INIAP, 1, 45-46. <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/1325>
- Cardona, A., Mora, A., & Marín, M. (2013). Identificación molecular de bacterias productoras de Polihidroxialcanoatos en subproductos de lácteos y caña de azúcar. Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín, 66(2), 7129-7140. <http://www.scielo.org.co/pdf/rfnam/v66n2/v66n2a13.pdf>
- Ceballos, H., & De la Cruz, A. (2012). Taxonomía y morfología de la yuca. La yuca en el tercer milenio, 16-31. Cali: CIAT, 570. <https://hdl.handle.net/10568/55239>
- Corozo, L., Héctor, E., Macías, F & Arteaga, F (2020). Micro propagación de dos variedades ecuatorianas de yuca (*manihot esculenta* crantz) micropropagation of two ecuadorian varieties of yuca (*manihot esculenta* crantz). Revista Chilena J. Agric. Anim. Sci., ex Agro-Ciencia, 36(3):224-232.
- Cuesta, X., Andrade, H, Bastidas, O., Quevedo, R., & Sherwood, S. (2012). Botánica y mejoramiento genético. El cultivo de la papa en Ecuador. Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias - Centro Internacional de la Papa (INIAP-CIP). Quito, Ecuador, 124. <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/2804>
- De la Torre, L., Macía, J., Henrik, B. (2008). Plantas útiles del Ecuador. Herbario QCA & Herbario AAU. Quito & Aarhus. <https://bibdigital.rjb.csic.es/records/item/16016-redirect>
- Domínguez, M., & Jiménez, M. (2012). Películas comestibles formuladas con polisacáridos: propiedades y aplicaciones. Temas selectos de ingeniería de alimentos, (6), 110 - 121. [http://www.TSIA-6\(2\)Dominguez-Courtney-et-al-2012.pdf](http://www.TSIA-6(2)Dominguez-Courtney-et-al-2012.pdf)
- Enríquez, M., Reinaldo, M., & Ortiz, V. (2012). Composición y procesamiento de películas biodegradables basadas en almidón. Revista Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, 10(1), 182-192. <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v10n1/v10n1a21.pdf>
- Espinel, E., & López, E. (2009). Purification and characterization of α -amylase from *penicillium commune* produced by solid state fermentation. Revista Unal. Bogotá. <http://www.scielo.org.co/pdf/rcq/v38n2/v38n2a01.pdf>
- Fathanah, U., Lubis, M., Rosnelly, C., & Moulana, R. (2013) Making and Characterizing Bioplastic from Cassava (*Manihot utilissima*) Peel Starch with Sorbitol As Plasticizer. En: The 7th International Conference of Chemical Engineering on Science and Applications: 148-154.
- Favis, B., Rodriguez, F., & Ramsay, B. (2006). Method of making polymer compositions containing thermoplastic starch. US6844380. U.S. PTO. <https://patents.google.com/patent/US6844380B2/en>
- Flores, S., Fama, L., Rojas, M., Goyanes, S., & Gerschenson, L. (2007). Physical properties of tapioca-starch edible films: Influence of filmmaking and potassium sorbate, Food Research International, 40 (2), 257-265. <https://doi.org.10.1016/j.foodres.2006.02.004>
- Franco, E., Maspocho M (2017) Evaluación de las propiedades mecánicas en mezclas de Poliestireno/Polietileno de baja densidad reciclado y tamizado. Revista Afinidad: 221-227
- García, A. (2016) "Obtención de un Biopolímero biodegradable a Partir de Almidón de maíz", Revista Bionatura. <http://revistabionatura.com/files/CS-2018.01.01.2---Revista-bionatura.pdf>
- García, A., Pinzón, M & Sánchez, L (2013). Extracción y propiedades funcionales del almidón de yuca, *Manihot esculenta*, variedad ICA, como materia prima para la elaboración de películas comestibles. Rev. Limentech Ciencia y Tecnología Alimentaria, 11(1):13-21. <https://doi.org/10.24054/16927125.v1.n1.2013.382>
- Garnica, A., Prieto, L., Rocío, A & Cerón, M (2010). Características funcionales de almidones nativos extraídos de clones promisorios de papa (*Solanum tuberosum* L. subespecie andigena) para la industria de alimentos. Alimentos Hoy, 19(21): 125-129
- Gonzalez J, Rojas H, Ichazo M. (2009). Propiedades mecánicas de mezclas PEBD/PELBD con cáscaras de almidón de yuca sometidas a un proceso de degradación en el suelo. 23.
- Granados, C., Guzman, L., Acevedo., Diaz, M & Herrera, A. (2014). Propiedades funcionales del almidon de sagu (*maranta arundinacea*). Rev. Bio.Agro, 12(2):90-96. <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v12n2/v12n2a10.pdf>

- Granda, J & Ramos, Y. (2019). Estudio de la resistencia a la tracción y deformación de bioplásticos obtenidos a partir de almidón de solanum Tuberosum a diferentes porcentajes de plastificante. Tesis de grado de ingeniero en materiales. Universidad Nacional de Trujillo – Facultad de ingeniería. Perú.
- Hernández, M., Torruco, J., Chel, L., & Betancur, D. (2008). Caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán, México. *Food Science and Technology*, 28(3), 718-726. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612008000300031>
- Huang, T., Duan, K., & Huang, S. (2006). Production of polyhydroxyalkanoates from inexpensive extruded rice bran and starch by *Haloferax mediterranei*, *Microbiology Biotechnology* 33, 701–706. <https://doi.org/10.1007/s10295-006-0098-z>
- Hwang, J. & Kokini, I. (2013). Contribution of the side branches to rheological properties of pectins, *Carboh, Polym.*: 19(1), 41-50.
- Jin, B., Yin, P., Ma, Y & Zhao, L. (2010). Production of lactic acid and fungal biomass by *Rhizopus fungi* from food processing waste streams. *Revista Microbiol Biotechnol.*, 32, 678-686. <https://doi.org/10.1007/s10295-005-0045-4>
- Kaur, A., Singh, N., Ezekiel, R y Guraya, H. (2007). Physicochemical, thermal and pasting properties of starches separated from different potato cultivars grown at different locations. *Food Chemistry*, 101:643 – 651. 10.1016/j.foodchem.2006.01.054
- Kolawole, F., Akinwande, B & Ade, Beatrice (2020). Physicochemical properties of novel cookies produced from orange-fleshed sweet potato cookies enriched with sclerotium of edible mushroom (*Pleurotus tuberregium*). *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 19(2): 174-178. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2018.09.001>
- Lese, V., Holland, E; Wairiu, M; Havea, R., Patolo, S., Nishi, M., Hoponoo, T., Bourke, M., Dean, A & Waqainabete, L. (2018). Facing food security risks: The rise and rise of the sweet potato in the Pacific Islands. *Journal of Global Food Security*, 18(1): 48-56. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2018.07.004>
- López, D., Ceron, A., Osorio, O., Checa, O., & Villada, H. (2017). Evaluación de propiedades mecánicas de películas biodegradables a base de almidón de papa, almidón de yuca y proteína de suero de leche. *Revista Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 2 (1) ,582-587. <http://www.fcb.uanl.mx/IDCyTA/files/volume2/3/10/95.pdf>
- Lorcks, J., Pommeranz, W. & Schmidt, H. (2011). Compositions and methods for manufacturing thermoplastic starch blends. US6235816. U.S. PTO. <https://patents.google.com/patent/US6235816B1/en>
- Mali, S., Karam, L., Pereira, L., y Grossman, M. (2004). Relationships among the composition and physicochemical properties of starches with the characteristics of their films. *J. Agric. food che.* 52:7720 – 7725. <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/jf049225%2B>
- Martinez, A., Velasco, C., De Icaza, M., y Castaño, V. (2007). Dynamical-mechanical and thermal analysis of polymeric composites reinforced with keratin biofibers from chicken feathers. *Composites: Part B*, 38(3), 405-410. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2006.06.013>
- Martínez, P., Peña, F., Gómez, Y., Vargas, G., & Velezmoro, C. (2019). Propiedades físicoquímicas, funcionales y estructurales de almidones nativos y acetilados obtenidos a partir de la papa (*Solanum tuberosum*). *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 85(3), 338-351. <http://www.scielo.org.pe/pdf/rsqp/v85n3/a06v85n3.pdf>
- Maulida, M., Siagian, M., & Tarigan, P. (2016) Production of Starch Based Bioplastic from Cassava Peel Reinforced with Microcrystalline Cellulose Avicel PH101 Using Sorbitol as Plasticizer. *J. Phis. Conf. Ser.*, 710, 30-31. <https://doi:10.1088/1742-6596/710/1/012012>
- Medina, C., Paredes, A., Rodríguez, M., Moreno, M., Camacho, D., García, D. & Ojeda, C.(2010). Evaluación de dos métodos de extracción de almidón a partir de cotiledones de mango. *Bioagro*, 22(1), 67-74.
- Medina, J., & Salas, J. (2008). Morphological Characterization of Native Starch Granule: Appearance, Shape, Size and its Distribution. En: *Revista Ingeniería*. Universidad de los Andes, 28(27), 57 – 62 <http://www.scielo.org.co/pdf/ring/n27/n27a7.pdf>
- Meneses, J., Corrales, C., & Valencia, M. (2007). Síntesis y caracterización de un polímero biodegradable a partir del almidón de yuca. *Ingeniería de Antioquia*, 57- 67 <http://www.scielo.org.co/pdf/eia/n8/n8a06.pdf>
- Meré J. Estudio del procesamiento de un polímero termoplástico basado en almidón de patata amigable con el medio ambiente. Madrid: Universidad Carlos III de Madrid; 2009.
- Mishra, S. y Rai, T. (2006). Morphology and functional properties of corn, potato and tapioca starches. *Food Hydrocolloids* 20:557 – 566. <10.1016/j.foodhyd.2005.01.001>
- Montilla, Delgado K, Varona G, Villada H. (2014). Efecto del ácido esteárico en las películas flexibles del almidón de yuca. *Revista Facultad Nacional de Agronomía de Medellín*. 6.
- Mukuze, S., Magut, H., & Frankson, L. (2019). Comparison of Fructose and Glycerol as Plasticizers in Cassava Bioplastic Production, 6(1), 41-52. <https://doi.org/10.21467/ajgr.6.1.41-52>
- Murillo, M & Alvis, A (2021). Propiedades fisicoquímicas y funcionales del almidón obtenido de dos variedades de batata (*Ipomoea batata*).*Rev.Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial*, 19(1):117-127. <https://doi.org/10.18684/BSAA>
- Navia, D., Ayala, A., & Villada, H. (2011). Isotermas adsorciones de bioplásticos de harina yuca moldeados por compresión. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 9(1), 77-87. <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v9n1/v9n1a10.pdf>

- Navia, D., Villada, H., & Ayala, A. (2013) Evaluación mecánica de bioplásticos semirrígidos elaborados con harina de yuca. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 2, 77-84. <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v11n1nspe/v11n1nspe09.pdf>
- Navia, D., Ayala, A., & Villada, H. (2015). Efecto de la gelatinización de la harina de yuca sobre las propiedades mecánicas de los bioplásticos. *Revista Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial*. vol.13 No.1 (38-44) <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v13n1/v13n1a05.pdf>
- Ortíz, M., Villalobos, M., Prado, M., Peña, A., Avalos, T., Martínez, M., & León, J. (2013). Desarrollo de una película plástica a partir de almidón extraído de papa residual. *Revista Ciencias de la Ingeniería y Tecnología*. Valle de Santiago, Guanajuato. <http://www.ecorfan.org/handbooks/pdf/IT1c18.pdf>
- Pardo, O., Castañeda, J., & Ortiz, A. (2013). Thermal and structural characterization of starches from different potato varieties. *Acta Agronómica*, 62(4), 289-295. <https://www.redalyc.org/pdf/1699/169930016002.pdf>
- Paredes, J., Pérez S, C., & Castro, C. (2017). Análisis de las propiedades mecánicas del compuesto de matriz poliéster reforzado con fibra de vidrio 375 y cabuya aplicado a la industria automotriz. *Enfoque UTE*, 8(3), 1-15. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v8n3.163>
- Park, J., Soon, S., Kim, S., & Kim, Y. (2015) Biodegradable polymer Blends of poly (l- lactic acid) and gelatinized starch. *Polymer Engineering and Science*. Brookfield-USA, 40(12), 2539-2540. <https://doi.org/10.1002/pen.11384>
- Pate, B y Seetharaman, K (2006) . Effect of heating rate on starch granule morphology and size. *Carbohydrate polymers* 65:381 – 385. [10.1016/j.carbpol.2006.01.028](https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2006.01.028)
- Ponce, S., & Guerrero, V. (2014). Propiedades mecánicas de compuestos biodegradables elaborados a base de ácido poliláctico reforzados con fibras de abacá. *Revista EPN*, 33(2), 1-11 https://revistapolitecnica.epn.edu.ec/ojs2/index.php/revista_politecnica2/article/viewFile/56/pdf
- Ramírez J., Quintero F. (2013). Estudio del mecanismo de gelatinización del almidón de yuca. Obtenido-de-Researchgate:https://www.researchgate.net/publication/235934297_Estudio_del_Mecanismo_de_Gelatinizacion_del_Amidon_de_Yuca
- Ramirez, M. (2011). Study of the properties of biocomposites. Part I. Cassava starch-green coir fibers from Brazil, *Carbohydrate Polymers*, 86, 1712-1722. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2011.07.002>
- Rendón, O., Garzón, C., Lisímaco, A., & Vélez, C. (2012). Influencia del momento de aplicación de un recubrimiento en la conservación de yuca, (1), 26-31. <https://doi.org/10.23850/22565035.26>
- Rimsa, S., & Tatarka, P. (2009). Starch ester blends with linear polyesters. U.S. PTO. <https://patents.google.com/patent/EP0663936B1/en>
- Rivas, M., Zamudio, P., & Bello, L. (2009). Efecto del grado de acetilación en las características morfológicas y fisicoquímicas del almidón de plátano. *Revista Mexicana de Ingeniería Química (México)*, 8(3), 291-297. <http://www.scielo.org.mx/pdf/rmiq/v8n3/v8n3a8.pdf>
- Rivera, L., & Nevárez, G. (2009). Fuentes de carbono económico para la producción de bioplásticos bacterianos. *Tecnociencia* 3(2), 58 – 63. <https://vocero.uach.mx/index.php/tecnociencia/article/view/730/845>
- Rivier, M., Moreno, M., Alarcón, F., Ruiz, R & Dufour, D (2010). Almidon agro de yuca en Colombia: (Tomo 2). Planta procesadora: descripción y plano de los equipos. Colombia: Edición Ciat.
- Román, Y., Techeira, N., Yamarte, J., Ibarra, Y & Fasendo, M (2015). Caracterización físico-química y funcional de los subproductos obtenidos durante la extracción del almidón de musáceas, raíces y tubérculos. *Interciencia*, 40(5):350-356. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33937066010>
- Ruiz, A. (2006). Obtención y caracterización de un polímero biodegradable a partir del almidón de yuca. *Ingeniería y Ciencia*, 2(4), 5-28. <https://www.redalyc.org/pdf/835/83520401.pdf>
- Sadh, Pk., Duhan, S., & Duhan, J. (2018) Agro-industrial wastes and their utilization using solid state fermentation: a review. *Bioresour. Bioprocess.* 5(1), 1–15. <https://doi.org/10.1186/s40643-017-0187-z>
- Saibene, D., & Seetharaman, K. (2010). Amylose involvement in the amylopectin clusters of potato starch granules. *Carbohydrate Polymers* 82(2), 376 – 383. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2010.04.070>
- Sívoli, L., Pérez, E., & Rodríguez, P. (2012). Análisis estructural del almidón nativo de yuca (Manihot esculenta C.) empleando técnicas morfométricas, químicas, térmicas y reológicas. *Rev. Fac.Agron*, 293-313. <https://produccioncientificaluz.org/index.php/agronomia/article/view/27057/27681>
- Solarte, J. (2019). Propiedades Reológicas y Funcionales del Almidón. Procedente de Tres Variedades de Papa Criolla. *Rev. Inf. Tecnol*, 30(6), 58. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642019000600035>
- Souza L, Wanderlei C, Marconcini, Ramirez J. (2009). Propriedades mecânicas de filmes biodegradáveis de amido de mandioca adicionados de nanofibrilas de algodão . *Revista Agropecuaria*, 6.
- Tako, M., & Hizukuri, S. (2012). Gelatinization mechanics of potato starch. *Carbohydr. Polym*, 48: 397-401. [https://doi.org/10.1016/S0144-8617\(01\)00287-9](https://doi.org/10.1016/S0144-8617(01)00287-9)
- Techeira, N., Sivoli, L., Perdomo, B., Ramírez, A & Sosa, F. (2015). Caracterización físicoquímica, funcional y nutricional de harinas crudas obtenidas a partir de diferentes variedades de yuca (Manihot esculenta Crantz), batata (Ipomoea batatas Lam) y ñame (Dioscorea alata), cultivadas en Venezuela. *Interciencia*, 39(3), 191-197. <https://www.interciencia.net/wp-content/uploads/2017/10/191-c-TECHEIRA-7.pdf>
- Teyssandier, P., Cassagnau, V., & Mignard, F. (2011). Sol-gel Transition and Gelatinization kinetics of wheat starch *Carbohydrate Polymers*: 400-406. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2010.07.061>

- Villada, H., Acosta, H., & Velasco, R. (2008). Investigación de Almidones Termoplásticos, Precursores de Productos Biodegradables. *Información Tecnológica*. 19(2): 3-14. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642008000200002>
- Zárate, L., Martínez, I., Romero, A., Partal, P., & Guerrero, A., (2011). Wheat gluten-based materials plasticised with glycerol and water by thermoplastic mixing and thermomoulding. *J. Sci. Food Agric.* 91 (4): 625–633. <https://doi.org/10.1002/jsfa.4224>.
- Zárate, L., Ramírez, L., Otálora, N., Prieto, L., Garnica, A., Cerón, M & Argüelles, J. (2014). Extracción y caracterización de almidón nativo de clones promisorios de papa criolla (*solanum tuberosum*, grupo phureja). *Rev. Latinoamericana de la papa*, 18(1):1-24. <http://ojs.papaslatinas.org/index.php/rev-alap/article/view/206/209>

Contribución de autores

Autor	Contribución
Carla Virginia Vélez Martínez	Concepción y diseño, investigación; metodología, redacción y revisión del artículo
Xiomara Soledad Zambrano Murillo	Concepción y diseño, investigación; metodología, redacción y revisión del artículo
María Hipatia Delgado Demera	Investigación; adquisición de datos y análisis e interpretación.
Gabriel Alfonso Burgos Briones	Investigación; adquisición de datos y análisis e interpretación.
Carlos Alfredo Cedeño Palacios	Investigación; adquisición de datos y análisis e interpretación.

Citación sugerida: Vélez, C., Zambrano, X., Delgado, M., Burgos, G., Cedeño, C. (2021). Almidones de cáscara de yuca (*manihot esculenta*) y papa (*solanum tuberosum*) para producción de bioplásticos: propiedades mecánicas y efecto gelatinizante. *Revista Bases de la Ciencia*, 6(2), 137-152. DOI: https://doi.org/10.33936/rev_bas_de_la_ciencia.v%vi%i.3293 Recuperado de: <https://revistas.utm.edu.ec/index.php/Basedelaciencia/article/view/3293>

ELABORACIÓN DE UNA CREMA COSMÉTICA A PARTIR DE EXTRACTOS DE *CORIANDRUM SATIVUM*

Elena Basurto Jimbo^{ID}, Viviana García Mir^{*ID}, Estefanía Rueda Rodríguez^{ID}, Kevin Noles Ramón^{ID}

Facultad de Ciencias Químicas y de la Salud. Universidad Técnica de Machala. Ecuador. E-mail: elenab99@hotmail.com, vgarcia@utmachala.edu.ec, estefaniarueda32@gmail.com, kpnolestr_est@utmachala.edu.ec

*Autor para la correspondencia: vgarcia@utmachala.edu.ec

Recibido: 12-05-2020 / Aceptado: 11-08-2021 / Publicación: 30-08-2021

Editor Académico: Enrique Ruiz^{ID}

RESUMEN

Coriandrum sativum L. es una hierba aromática muy empleada como condimento. Presenta gran variedad de metabolitos con diversas propiedades, incluyendo elevada actividad antioxidante. El objetivo del trabajo fue diseñar una crema a partir de extracto hidroalcohólico obtenido de las hojas de *Coriandrum sativum L.* (cilantro) con fines cosméticos. Se partió del estudio de algunos parámetros fisicoquímicos del material vegetal incluyendo la cuantificación del contenido de grasa por resonancia magnética nuclear de baja resolución. Mediante espectrofotometría UV, se valoró el contenido de fenoles totales y la capacidad antioxidante (DPPH) a diferentes extractos de las hojas y los tallos con etanol al 25, 50 y 75%. La mayor cantidad de fenoles totales y actividad antioxidante se obtuvo en el extracto hidroalcohólico (50%) de las hojas con valores de 21,867/0,275 mg/g de muestra seca y 56,68% de decoloración del DPPH. Se diseñó una crema (w/o) a partir del extracto hidroalcohólico de las hojas al 50%, con empleo del diseño de mezcla D-optimal de tres componentes con restricciones: cera de abeja, borato de sodio y agua. Las variables respuesta fueron pH y el área de extensibilidad. Ambas variables presentaron modelos cuadráticos obteniendo una significación $p < 0,0002$, pérdida de ajuste $p > 0,05$ y R^2 ajustado cercano a 1. Finalmente, la formulación obtenida fue la combinación cera de abeja 11,3- borato de sodio- 1 y agua 14,5 con un pH 6,8, extensibilidad 23,7 y 100% deseabilidad. De esta manera se desarrolló una preparación cosmética (crema) de uso tópico natural con actividad antioxidante, empleando herramientas estadísticas.

Palabras clave: *Coriandro sativum*, fenoles totales, capacidad antioxidante, diseño D-optimal.

PREPARATION OF A COSMETIC CREAM FROM EXTRACTS OF *CORIANDRUM SATIVUM L.* (CULANTRO)

ABSTRACT

Coriandrum sativum L. is an aromatic herb widely used as a condiment. It presents a variety of metabolites with various properties, such as antioxidant activity. The objective of this work was to design a cream from the hydroalcoholic extract obtained from the leaves of *Coriandrum sativum L.* (Culantro) for cosmetic purposes. A physicochemical parameters study was carried out on the raw drug, including a fat content determination by Low-Resolution Nuclear Magnetic Resonance. The antioxidant capacity (DPPH) and total phenols content were valued in different leaves and stems extracts with 20, 50, and 75% of ethanol through UV spectrophotometry. The highest amount of total phenols was obtained in the

hydroalcoholic extract (50%) of leaves with 21,867 / 0,275 mg/g from a dry sample and 56.68% DPPH discoloration. A cosmetic cream was designed starting from a 50% hydroalcoholic leaves extract using a three components D-optimal mix design with restrictions: beeswax, sodium borate, and water. Extensibility, area, and pH were the response variables. Both variables presented quadratic and special cubic models obtaining values of $p < 0.05$, adjustment lost $p > 0.05$, and adjusted R^2 near to 1. Experiment 1 shows 100% desirability. The analysis allowed a cosmetic preparation (cream) for natural topical use with antioxidant activity was developed using statistical tools.

Keywords: *Coriandrum sativum*, total phenols, antioxidant capacity, D-optimal.

PREPARAÇÃO DE UM CREME COSMÉTICO A PARTIR DE EXTRATOS DE *CORIANDRUM SATIVUM* L. (COENTRO)

RESUMO

Coriandrum sativum L. é uma erva aromática amplamente utilizada como condimento. Apresenta uma grande variedade de metabólitos com diversas propriedades, incluindo alta atividade antioxidante. O objetivo do trabalho foi elaborar um creme a partir do extrato hidroalcoólico obtido das folhas de *Coriandrum sativum* L para fins cosméticos. Foi realizado um estudo dos parâmetros físico-químicos do fármaco bruto, incluindo a determinação do teor de gordura por Ressonância Magnética Nuclear de Baixa Resolução. Por espectrofotometria UV, foram avaliados o teor de fenóis totais e a capacidade antioxidante (DPPH) de diferentes extratos de folhas e caules com etanol a 25, 50 e 75%. A maior quantidade de fenóis totais e atividade antioxidante foi obtida no extrato hidroalcoólico (50%) das folhas com valores de 21,867 / 0,275 mg / g de amostra seca e 56,68% de descoloração do DPPH. Um creme (w/o) foi elaborado a partir do extrato hidroalcoólico das folhas a 50%, utilizando o desenho de mistura D-ótima de três componentes com restrições: cera de abelha, borato de sódio e água. As variáveis de resposta foram o pH e a área de extensibilidade. O pH e extensibilidade apresentaram modelos quadráticos obtendo significância $p < 0,0002$, perda de ajuste $p > 0,05$ e R^2 ajustado próximo a 1. Finalmente, a formulação obtida foi uma combinação de cera de abelha 11,3, borato de sódio-1 e água 14,5 com pH 6,8 e 23,7 extensibilidade e 100% desejabilidade. Desta forma, foi desenvolvida uma preparação cosmética (creme) para uso tópico natural com atividade antioxidante, utilizando ferramentas estatísticas.

Palavras chave: *Coriander sativum*, fenóis totais, capacidade antioxidante, projeto D-ótimo.

1. INTRODUCCIÓN

Coriandrum sativum L. (Culantro) es una especie aromática ampliamente distribuida y fácilmente cultivada en huertos familiares. Es una planta herbácea perenne que pertenece a la familia Apiaceae y constituye uno de los condimentos principales de las comidas en varios países (Laribi et al., 2015).

Debido a la presencia de una multitud de bioactivos en las diferentes partes de la planta, se le ha atribuido una amplia gama de actividades farmacológicas, que incluyen antimicrobianos, antioxidantes, antidiabéticos, ansiolíticos, antiepilépticos, antidepresivos, antimutagénico, antiinflamatorio, antidislipidémico, antihipertensivo, neuroprotector y diurético (Sahib et al., 2013). Entre los principales metabolitos que presenta están: alcaloides, compuestos fenólicos, saponinas y un porcentaje alto de ácidos grasos esenciales. En los extractos acuosos, etanólicos y metanólicos de las hojas y los tallos se han identificado productos de naturaleza fenólica, responsables en gran medida de la actividad antioxidante, aspecto funcional más importante que caracteriza a esta especie (Jazia et al., 2011; Nurzyńska- Wierdak, 2013). Adicionalmente, muestra un elevado contenido de agua (90%), calcio, hierro, vitamina B1 (tiamina), B2 (riboflavina), vitamina A y proteínas (Wei et al., 2019).

Antiguamente, el hombre empleó los recursos naturales para el cuidado de la piel de forma empírica, basándose en usos tradicionales y conocimientos etnobotánicos. Sin embargo, en la actualidad la industria cosmética diseña productos que contienen ingredientes activos provenientes de las plantas de elevada eficacia, amplio rango terapéutico y baja toxicidad denominados cosmeceúticos. Algunos de estos compuestos actúan sobre la piel en la prevención y protección de elementos que alteran la estructura de la capa córnea (González y Bravo, 2017).

La piel es la frontera que separa nuestro cuerpo del resto de las cosas y su senectud es el resultado de alteraciones celulares debidas a la acumulación de radicales libres. El desarrollo de ingredientes activos antioxidantes con el objetivo de tratar y prevenir el envejecimiento cutáneo es esencial para reducir al mínimo el efecto del estrés oxidativo y retrasar la muerte celular (Castaño et al., 2018).

Las cremas cosméticas son formulaciones semisólidas destinadas a su aplicación en la piel, su consistencia y propiedades dependen de la naturaleza de los sólidos de la fase interna y del tipo de emulsión presente, sea agua /aceite (W/O) hidrófobas o aceite/agua (O/W) hidrófilas. Las preparaciones donde predomina la fase oleosa (W/O) son untuosas y viscosas por ello son útiles como emolientes, lubricantes y nutritivas para la piel seca, sometida a condiciones climáticas adversas, zonas de roce y procesos dermatológicos crónicos. En su diseño debe considerarse tanto las potencialidades del ingrediente activo como las características de los excipientes y la finalidad del producto (Lukic et al., 2012). Teniendo en cuenta estos planteamientos, el trabajo se propuso diseñar

una crema a partir de extracto hidroalcohólico obtenido de las hojas de culantro *Coriandrum sativum* L. con fines cosméticos, como una nueva forma de uso sostenible a considerar en el campo de la fitocosmética.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Recolección y preparación de la planta

Se utilizaron muestras de *C. sativum* L. procedentes de la granja ECUAVERDURAS, las cuales se obtuvieron del supermercado “AKI”. Se seleccionaron las que se encontraban en buen estado no afectadas por insectos, ni contaminadas por tierra, arena u otra materia inorgánica.

Las muestras se lavaron con agua destilada y se desinfectaron con hipoclorito de sodio (Sigma-Aldrich) al 0,5%, separando las partes aéreas (hojas y tallos). Fueron secadas a temperatura ambiente por un periodo de 48 horas, luego se llevó a desecación completa a 40°C en estufas (Memmert Basic UNB 400, Schwabach, Alemania) por 48 horas. Finalmente se trituró en un molino de discos (DM 200, Düsseldorf, Alemania) hasta polvo fino aproximadamente entre 0,5-1 mm. Se almacenaron en fundas de nylon herméticas de 25 a 30°C.

Control de calidad del material vegetal diferenciando hojas y tallos

Mediante métodos gravimétricos se determinó la humedad y las cenizas totales, solubles en agua e insolubles en ácido clorhídrico. Este ensayo se efectuó por triplicado siguiendo la metodología establecida por la WHO (2011) y USP 38 (2015).

Contenido de grasas

La cuantificación se realizó siguiendo la metodología descrita en la ISO 8292-1(2008) empleando Resonancia Magnética Nuclear (RMN) de baja resolución. Se pesaron tres tubos de ensayos con bases planas de 25 mL de capacidad, en cada uno se colocó el material vegetal con diferencias significativas entre los pesos 2-6 g. Los tubos con las muestras fueron colocados en la estufa (Memmert Basic UNB 400) durante 30 minutos a 40°C. Transcurrido este tiempo se procedió a determinar en el equipo marca Minispec modelo MQ20 NMR Analyzer (Bruker, Alemania), la cantidad de grasa presente en la droga cruda de hojas y tallos de *C. sativum* (Cobo et al. 2017).

Obtención y control de calidad de los extractos hidroalcohólicos

La preparación del extracto hidroalcohólico se realizó en base a la investigación realizada por Ceballos y Giraldo (2011), con extracción asistida por ultrasonido a 3000 rpm (Ultrasonic Bath 5.7, Fischer Scientific), temperatura ambiente y aisladas de la luz.

Se pesó 1 g del material vegetal en la balanza analítica Pioneer Ohaus y se sometió, de manera independiente, a extracción sólido-líquido (1:25 p/v), con diluciones hidroalcohólico a diferentes concentraciones: 25, 50, 75%, con agitación magnética y aislada de la luz durante 90 minutos. Los extractos fueron filtrados con ayuda de papel filtro, se almacenaron en refrigeración ($4^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$) y protegidos de la luz, para los análisis correspondientes (Ceballos y Giraldo, 2011).

A los extractos se le evaluó la densidad relativa por picnometría, los sólidos totales mediante gravimetría y el pH con el pH-metro Oakton pH 700 (Vernon Hills, USA). El índice de refracción se determinó en un refractómetro Anton Paar-Abbemat 200 (Malmö, Suecia) y los sólidos totales en estufa de marca Memmert. Los parámetros se obtuvieron por triplicado siguiendo la metodología establecida por WHO (2011) y USP 38 (2015).

Determinación de Fenoles Totales

Para la elaboración de la curva de calibración se procedió de igual manera a la metodología descrita Singleton et al. (1998) con algunas modificaciones. De cada uno de los extractos hidroalcohólicos anteriores, se tomó 0,1 mL, se adicionó 5 mL de disolución al 10% del reactivo de Folin-Ciocalteu (Sigma Aldrich) y 0,9 mL de agua desionizada. Se agitó en un volter (Thermo Scientific, USA) y se dejó en reposo por 5 minutos, transcurrido este periodo se añadió 4 mL de Na_2CO_3 al 7,5%, se mezcló y dejó en reposo durante 2 horas. Se realizó la lectura a 765 nm en un espectrofotómetro (UV-Visible Spectrophotometer Evolution 201, Thermo Scientific, USA) empleando microceldas de 2 mL.

Determinación de la capacidad antioxidante

El análisis se determinó por el método del radical libre DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidracilo) descrito por Barron et al. (2011). La capacidad antioxidante de la muestra se midió a 517 nm por el cambio de coloración gradual del DPPH (púrpura) a DPPH-reducido (amarillo). Se preparó una disolución metanólica de DPPH a una concentración 0,1 mM. A cada muestra se le adicionó 3 mL de disolución de DPPH (0,1 mM) mezclando separadamente. Las mezclas se dejaron a temperatura ambiente y oscuridad durante 30 minutos. Posteriormente se midió su absorbancia en el espectrofotómetro (UV-Visible Spectrophotometer Evolution 201, Thermo Scientific, USA).

Diseño de una crema cosmética a partir de extracto hidroalcohólico de *C. sativum*.

En la formulación se estableció un 50% del extracto hidroalcohólico (extracto de 50% de etanol). Este porcentaje correspondió con los resultados de la evaluación de la actividad antioxidante.

Se aplicó un diseño experimental de mezclas con restricciones con tres componentes: cera de abeja entre 10-12% (APICOLA GRIJALVA, Ecuador), Borato de Sodio 1-3% (Solvesa Ecuador S.A,

Ecuador) y Agua del 11.80-15.80%. El resto de los excipientes se seleccionaron de acuerdo con los más frecuentes en este tipo de preparación y todos fueron de calidad farmacéutica: 13% de alcohol cetílico y 54% aceite de coco (ambos de Laboratorios Duque, Ecuador), 0,18 y 0,02% metil y propil parabeno, como preservos (VENO Fine Chemical) (Gutiérrez et al., 2017; Rodríguez, 1998).

Se elaboraron 14 experimentos de los cuales siete se utilizaron para estimar el modelo, tres para la pérdida de ajuste y los cuatro restantes de réplicas. Las variables respuesta fueron pH y extensibilidad. El estudio se realizó con ayuda del software DX-11.0 del 2018 (Stat-Ease, Inc., Minneapolis, USA) (Gutiérrez, 2008)

Los modelos matemáticos de mejor ajuste para cada variable respuesta, se seleccionaron en base a las comparaciones de la significación, la pérdida de ajuste, precisión Adeq, los coeficientes de determinación R^2 ajustado y predicho.

Las formulaciones fueron preparadas en orden aleatorio como lo indicó el software DX-11.0. Se elaboraron a escala de laboratorio de 150 g cada una, por el método de fusión basándose en el modelo de la formulación Cold Cream base principal para el desarrollo de este tipo de cremas. (Agencia Nacional de Vigilancia Sanitaria, 2012)

El proceso de confección partió de fundir la cera de abeja junto con el alcohol cetílico a una temperatura de 70°C. Luego, se adicionó el aceite de coco a 25°C. Primero se agita rápido de forma continua y luego lento de las orillas hacia el centro. Se incorporó poco a poco el extracto junto con los parabenos y de igual manera el borato de sodio y el agua, se mezcló hasta obtener la textura deseada.

Evaluación de los parámetros físico-químicos y tecnológicos de la crema

Se tomó en cuenta el color, olor, consistencia y apariencia, se determinó el pH utilizando un pH-metro digital (BANTE 920, Colombia) de todas las formulaciones realizadas. También se evaluó el área de extensibilidad, colocando como base un papel milimetrado, trazado con las coordenadas, que sirvieron como guía para determinar el área de extensibilidad. Posteriormente, se ubicó encima de la hoja milimetrada una placa de vidrio, en el centro se colocaron 2 g de cada formulación. Por último, se colocó cuidadosamente otra placa de vidrio de aproximadamente 380 g de peso. A los 5 minutos se midió con el calibrador de Vernier los diámetros de la elipse formada, siguiendo las coordenadas (4 direcciones). Los ensayos se realizaron por triplicado a una temperatura de $30^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ y humedad relativa de $70\% \pm 5\%$.

En la optimización de las formulaciones se utilizó un procedimiento numérico (DX-11). Se asignó como criterios un pH entre 6 y 7 y la extensibilidad como objetivo 30,5 cm² con un máximo grado de importancia.

Análisis estadístico.

Los datos se procesaron en el software estadístico IBM SPSS versión 24, y expresados como media/desviación estándar (DS). Las comparaciones estadísticas fueron mediante t de Student y Anova II, considerando un nivel de significación del 5%. Previo a estas determinaciones se verificó el cumplimiento de la distribución normal y la homocedasticidad empleando las pruebas Shapiro-Wilk y Levene respectivamente.

2. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los parámetros de calidad de las hojas y tallos de *C. sativum* mostraron diferencias ($p < 0,05$) y ambos cumplieron con los requisitos (USP 38, 2015). (**Tabla 1**)

Tabla 1. Parámetros de calidad de las hojas y tallos de *C. sativum* (media/SD; n=3)

Parámetros (%)		Partes de la planta	
		Hojas	Tallos
Humedad		9,46/0,236	9,88/0,073
Cenizas totales		8,83/0,059	16,01/0,006
Cenizas solubles en agua		4,50/0,175	12,92/0,141
Cenizas insolubles en HCl al 10 %		0,20/0,231	1,25/0,12
Sustancias solubles	Mezcla hidroalcohólica al 50%	42,49/0,02	30,51/0,33
	Alcohol	33,87/0,064	8,82/0,76
	Agua	12,28/0,065	38,46/0,342
Contenido de grasa		4,03/0,27	3,31/0,08

Los parámetros mostraron diferencias significativas $p < 0,05$

Fuente: Elaboración propia.

La determinación del contenido de grasas mostró variabilidad significativa entre el tallo y la hoja. El valor más elevado se aprecia en hojas ($p < 0,05$). La cuantificación se realizó mediante RMN de baja resolución, una herramienta importante de control de calidad para la determinación del contenido de grasas sólidas en la producción y procesamiento de grasas y aceites en la industria alimentaria. Entre

sus ventajas: se encuentra que no es invasivo, no necesita productos químicos adicionales, tiene buena reproducibilidad y requiere menos tiempo de análisis (Cobo et al. 2017).

La deficiencia de grasa en la piel incide negativamente, genera superficies estriadas, no flexible, sin brillo y esto es un factor importante a considerar en el desarrollo de un cosmético (Instituto Nacional Ecuatoriano de Normalización. Productos Cosméticos NTE INEN 2867, 2015: Pandey et al. 2021): La planta *C. sativum* L. cuenta en su composición ácidos grasos insaturados beneficiosos para el organismo, tales como el ácido petroselínico, linoleico, linalol, pineno, dipenteno, geraniol, felandren, borneol, limoneno, por mencionar algunos (Chung et al., 2012).

Control de calidad de los extractos hidroalcohólicos de *C. sativum* al 25, 50 y 75%.

Los parámetros como densidad, índice de refracción y pH evaluados en los extractos de las diferentes partes vegetativas y a las diferentes concentraciones de etanol (25, 50 y 75%) no mostraron diferencias significativas ($p > 0,05$). La densidad fue 1,04/0,00, índice de refracción 1,35/0,00, pH 6,27/0,06. Sin embargo, en los porcentajes de sólidos totales los valores si existieron diferencias en cada una de las condiciones. (**Tabla 2**)

Cuantificación de fenoles totales.

En la **tabla 2**, se muestran los resultados de contenido de fenoles totales en mg ácido gálico/g tanto para hojas y tallos de *C. sativum*, obtenidos en los tres extractos a diferentes proporciones de EtOH: H₂O. La cantidad de fenoles totales mayor se obtuvo en el extracto hidroalcohólico 50% de las hojas cuyo valor de 21,867/0,2754 mg ácido gálico/g ($Y = -0,00216 + 1,17X$, $r^2 = 0,99$, $p = 0,99$) de muestra seca.

Se ha reconocido que los fenoles muestran actividad antioxidante y sus efectos sobre la nutrición y la salud humana son considerables. Estos compuestos actúan como terminadores de radicales libres. (Shahidi, 1992). Muñoz-Márquez et al. (2014) reportan valores inferiores de fenoles totales para el *C. sativum* con un valor aproximado de 1,38 mg ácido gálico/g. Este estudio valoró el efecto de diferentes disoluciones (0, 35 y 70% de etanol) mostrando que no existen diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$) en el rendimiento.

Tabla 2. Determinaciones del contenido de sólidos, fenoles totales y porcentaje de decoloración de DPPH en diferentes extractos hidroalcohólicos de hojas y tallos de *C. sativum* L. (media/DS; n=3).

Partes de la planta	Relaciones extractos a EtOH- H ₂ O	ST (%)	Compuestos fenólicos (mg ácido gálico/g)	Porcentaje de decoloración del DPPH (%)
Hojas	25:75 (v/v)	0,86/0,03 ^a	16,49/1,05 ^a	34,73/0,08

	50:50 (v/v)	1,20/0,08 ^b	21,89/0,27 ^b	56,68/0,10
	75:25 (v/v)	1,17/0,07 ^c	17,00/0,78 ^c	55,09/0,14
Tallos	25:75 (v/v)	0,53/0,01 ^a	9,18/0,078 ^a	22,27/0,49
	50:50 (v/v)	0,66/0,02 ^b	9,73/0,35 ^b	25,80/0,79
	75:25 (v/v)	0,64/0,03 ^b	7,13/0,23 ^c	27,12/0,19

ST= Sólidos Totales.

a, b y c muestran las diferencias estadísticas ($p < 0,05$).

Fuente: Elaboración propia.

Actividad antioxidante de los extractos hidroalcohólicos de las hojas y tallos

La capacidad de un compuesto de inhibir el índice de oxidación constituye un aspecto de gran importancia, ya que se protege al organismo de las infecciones, del deterioro celular y del envejecimiento prematuro (Coronado et al., 2015).

La **Tabla 2**, muestra los resultados de la evaluación de la capacidad antioxidante de los extractos hidroalcohólicos a diferentes concentraciones. Existieron diferencias significativas entre las partes vegetativas de la planta ($p = 0,003$) y las concentraciones de etanol-agua ($p = 0,000$). La relación 50:50 de las hojas presentó el mayor porcentaje de inhibición en la decoloración del DPPH con un 56,681%. En los tallos, la mayor actividad lo tuvo el extracto al 75:25 con un porcentaje de inhibición de 27,12%.

Diseño de una crema cosmética a partir del extracto hidroalcohólico de las hojas de *C. sativum*

En la elaboración de la crema se consideró las propiedades antioxidantes del extracto hidroalcohólico de las hojas al 50%. Utilizando el mismo porcentaje (50%) este se incorporó como ingrediente activo en la formulación.

El tipo de emulsión realizada fue agua/aceite. Esta última se caracteriza por formar películas oleosas algo oclusivas que impermeabilizan la superficie de la piel. Los componentes optimizados fueron la cera de abeja, borato de sodio y agua. La selección se basó en la reacción de saponificación de un ácido graso en un medio alcalino. La cera contiene el ácido cerótico que reacciona con el Borato de sodio dando lugar al cerotato de sodio. El exceso de este material genera una crema de textura granulosa. El borato que no reacciona lo conduce a su cristalización. Cuando es insuficiente, dará como consecuencia, que no se forme la cantidad requerida del emulsificante dando igualmente a la cristalización de la cera que no reacciona, y a la separación de la grasa líquida de la formulación (Aranberri et al., 2006; Garzón et al., 2009).

De las 14 formulaciones evaluadas (**Tabla 3**) se obtuvieron varias consistencias, sin observarse signos de inestabilidad física o química. El color verde claro, típico del extracto, fue homogéneo en todas las preparaciones. El resultado de cada variable respuesta (pH y extensibilidad) se representa

en la **Tabla 3**. Las ecuaciones y los parámetros de valoración de cada modelo se resumen en la **Tabla 4**.

Tabla 3: Matriz experimental y resultados de las variables respuestas del diseño D-Optimal de la crema de *C. sativum* L.

Corridas	Cera de abeja (%)	Borato de sodio (%)	Agua (%)	pH	Extensibilidad ² cm
1	10	3	13,8	7,2	10
2	12	3	11,8	7,3	12
3	11	1	14,8	7	11
4	10	2	14,8	6,9	10
5	10,29	3	13,51	7,3	10,29
6	12	1	13,8	7,1	12
7	10	1	15,8	6,2	10
8	10,29	3	13,51	7,6	10,29
9	12	1	13,8	7	12
10	11	3	12,8	7,3	11
11	11,5	2	13,3	7,3	11,5
12	12	3	11,8	7,2	12
13	10	1	15,8	6	10
14	12	2	12,8	7,14	12

n=3 en cada una de las determinaciones.

Fuente: Elaboración propia.

En el análisis de la variable pH se obtuvo un valor F experimental de 22,92 en el modelo cuadrático por lo que resultó significativo, con solo 0,02% de probabilidad de ruido. La pérdida de ajuste fue 0,0500, lo que indica que el error de los residuos fue estadísticamente similar al error puro de las réplicas. El R² predicho de 0,8032 está razonablemente relacionado con el R² ajustado de 0,8940, la diferencia es menor de 0,2. El Adeq precisión fue 14,638 indicando que la señal fue adecuada por tanto en este modelo se puede usar para navegar por el espacio de diseño. El modelo indica que los componentes A (cera de abeja), B (borato de sodio), C (agua) y la interacción AC tienen un efecto significativo en el pH de las mezclas ($p < 0,05$), el resto de las interacciones no.

Tabla 4: Resumen de los modelos ajustados del diseño D-Optimal de la crema de *C. sativum* L.

Modelo ajustado	Sig. (p)	Pérdida de ajuste (p)	R ² ajustado	Precisión Adeq
pH = -48,8786 Cera de Abeja - 4,073 Borato de Sodio - 33,663 Agua + 71,754 Cera de abeja * Borato de Sodio + 190,917 Cera de Abeja * Agua + 63,271 Borato de Sodio * Agua	0,0002	0,1220	0,8940	14,6381
Extensibilidad = 56,39 * cera de abeja + 153,15 * borato de sodio + 14,54 * agua - 14,38 * cera de abeja * borato de sodio - 4,64 * cera de abeja * agua - 3,32 * borato de sodio * agua	0,0005	0,6153	0,9097	11,7756

Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico de traza se observa el comportamiento del pH en cada uno de los componentes (**Figura 1**). La mayor importancia relativa en la mezcla fue el agua. Al aumentar su proporción disminuye significativamente el pH. El efecto de A y B fue menor y con un proceder similar. En un punto A cambia ligeramente su dirección. El gráfico de contorno (**Figura 1**) presenta las coordenadas de los principales valores estimados de pH entre 6 y 7,6. La franja verde muestra la región donde se encuentran las proporciones de A, B y C óptimas del diseño entre 6,5 y 7.

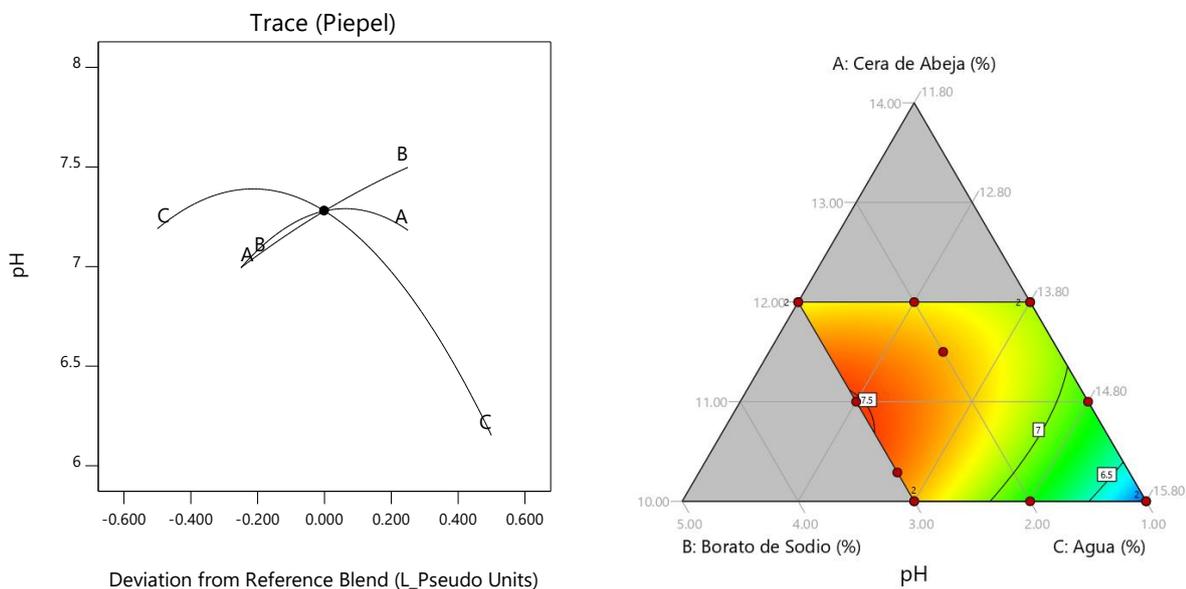


Figura 1. Modelos de ajuste correspondiente al pH. Gráficos de traza y contorno del diseño D optimal.

Fuente: Elaboración propia.

Los datos de la variable extensibilidad se ajustaron a un modelo cuadrático (**tabla 4**). El valor de F fue 16,12 (p=0,0005) y la pérdida de ajuste de 0,6159. La diferencia entre el R² predicho (0,7067) y el ajustado (0,8533) fue menor de 0,2. El modelo determinó significativos como A, B, C y la interacción en A-B. En comparación con el pH, la relación cera de abeja - borato de sodio si incidió

en consistencia de la crema. El gráfico de traza (**Figura 2**) muestra que la mayor importancia fue para A y B, sus proporciones afectan sustancialmente el parámetro. En cambio, con el agua este parámetro se comporta sin mayor variabilidad. En el gráfico de contorno (**Figura 2**) se indica las proporciones de los componentes en la mezcla (franja azul) que tienen una extensibilidad superior a 20 cm^2 .

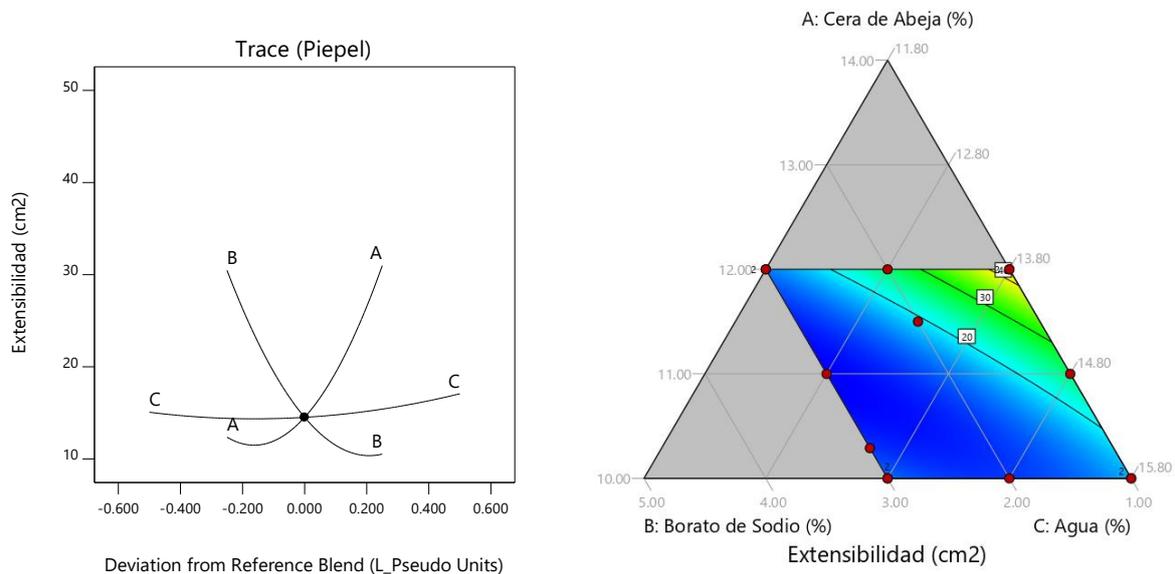


Figura 2. Modelos de ajuste correspondiente a la Extensibilidad, Gráficos de traza y contorno del diseño D optimal.
Fuente: Elaboración propia.

Para optimizar las formulaciones en el DX 11 se consideró como criterios un pH entre 6 y 7 y la extensibilidad como objetivo $30,5 \text{ cm}^2$ con un máximo grado de importancia. La combinación obtenida fue cera de abeja 11,3 %, borato de sodio 1 % y agua 14,5 % con un pH 6,8, y extensibilidad $23,7 \text{ cm}^2$ y 100% deseabilidad.

3. CONCLUSIONES

Con el estudio realizado se demostró la factibilidad de diseñar un nuevo producto cosmético de uso tópico a base del extracto hidroalcohólico de hojas de *C. sativum*, producto natural con marcada actividad antioxidante, empleando herramientas estadísticas de diseño experimental que permitieron optimizar los componentes en las formulaciones.

4. REFERENCIAS

- Agencia Nacional de Vigilancia Sanitaria. (2012). Formulario Nacional de la Farmacopea Brasileña. pp.204.
- Aranberri, I. Binks, B. Clint, J, y Fletcher, P. (2006). Elaboración y caracterización de emulsiones estabilizadas por polimeros y agentes tensioactivos. *Rev Iberoam Polímeros*, 7(3), 21.
- Barrón-Y., Rosario M., García-Mateos, M. del Rosario, Soto-Hernández, Marcos R., Colinas-León, Teresa, y Kite, Geoffrey. (2011). Flavonoides y actividad antioxidante de *Calia secundiflora* (Ort.) Yakovlev. *Revista fitotecnia mexicana*, 34(3), 151-157. Recuperado em 04 de maio de 2021, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73802011000300005&lng=pt&lng=

- Castaño Amores, C., y Hernández Benavides, P. J. (2018). Activos antioxidantes en la formulación de productos cosméticos antienvjecimiento. *Ars Pharmaceutica* (Internet), 59(2), 77-84.
- Ceballos, A. y Giraldo, G. (2011). El cilantro (*Coriandrum sativum* L.) como fuente potencial de antioxidantes naturales. *Vector* 6, 85–93. http://vip.ucaldas.edu.co/vector/downloads/Vector6_11.pdf
- Chung, I. M., Ahmad, A. Kim, S. J. Naik, P. M., y Nagella, P. (2012). Composition of the essential oil constituents from leaves and stems of Korean *Coriandrum sativum* and their immunotoxicity activity on the *Aedes aegypti* L. *Immunopharmacology and immunotoxicology*, 34(1), 152–156. <https://doi.org/10.3109/08923973.2011.589030>
- Cobo, M. F., Deublein, E. J., Haber, A., Kwamen, R., Nimbalkar, M., & Decker, F. (2017). TD-NMR in quality control: standard applications. *Modern magnetic resonance*, 1-18. https://www.researchgate.net/profile/Manoj-Nimbalkar/publication/318434683_TD-NMR_in_Quality_Control_Standard_Applications/links/5b27a003458515cad5604336/TD-NMR-in-Quality-Control-Standard-Applications.pdf
- Coronado H, Marta, Vega y León, Salvador, Gutiérrez T, Rey, Vázquez F, Marcela, & Radilla V, Claudia. (2015). Antioxidantes: perspectiva actual para la salud humana. *Revista chilena de nutrición*, 42(2), 206-212. <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-75182015000200014>
- Garzón, ML. Vázquez, ML. Villafuerte, L. García, B., y Hernández, A. (2009). Efecto de los componentes de la formulación en las propiedades de las nanopartículas lipídicas sólidas. *Rev Mex Ciencias*, 40(2), 26–40. <http://www.redalyc.org/pdf/579/57912942005.pdf>
- González Minero, Francisco José, y Bravo Díaz, Luis. (2017). Historia y actualidad de productos para la piel, cosméticos y fragancias. Especialmente los derivados de las plantas. *Ars Pharmaceutica* (Internet), 58(1), 5-12. <https://dx.doi.org/10.4321/s2340-98942017000100001>
- Gutiérrez Pulido, H., & Vara Salazar, R. d. l. (2012). *Análisis y diseño de experimentos* (3a. ed). México D.F.: McGrawHill.
- Gutiérrez, Y. Welch W, S R. García V., y Delgado L. (2017). Propuesta de una formulación semisólida a partir de un extracto hidroalcohólico de *Talipariti elatum* Sw. *Rev Ciencias Farm y Aliment*, 3(2), 1-12.
- Instituto Nacional Ecuatoriano de Normalización. (2015). *Productos Cosméticos NTE INEN 2867*. https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte_inen_2867.pdf
- ISO 8292-1:2008(en) (2008) Animal and vegetable fats and oils – determination of solid fat content by pulsed NMR.
- Laribi, B., Kouki, K., M'Hamdi, M., y Bettaieb, T. (2015). Coriander (*Coriandrum sativum* L.) and its bioactive constituents. *Fitoterapia*, 103, 9–26. <https://doi.org/10.1016/j.fitote.2015.03.012>
- Lukic, M., Jaksic, I., Krstonosic, V., Cekic, N., y Savic, S. (2012). A combined approach in characterization of an effective w/o hand cream: the influence of emollient on textural, sensorial and in vivo skin performance. *International journal of cosmetic science*, 34(2), 140-149.
- Muñiz-Márquez, DB., Rodríguez, R., Balagurusamy, N., Carrillo, ML., Belmares, R., Contreras, JC., Nevárez, GV., y Aguilar, CN. (2014). Phenolic content and antioxidant capacity of extracts of *Laurus nobilis* L., *Coriandrum sativum* L. and *Amaranthus hybridus* L. *J Food.*, 12(3), 271-276. <https://doi.org/10.1080/19476337.2013.847500>
- Nurzyńska-Wierdak, R. (2013). Essential oil composition of the coriander (*Coriandrum sativum* L.) herb depending on the development stage. *Acta Agrobot*, 66(1), 53–60. <https://doi.org/10.5586/aa.2013.006>
- Pandey, A., Jatana, G. K., y Sonthalia, S. (2021). *Cosmeceuticals*. In *StatPearls*. StatPearls Publishing.
- Rodríguez, I. (1998). Agentes promotores de la permeación percutánea. *Rev Cubana Farm*, 32(1), 68-75. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-75151998000100011&lng=es&tlng=es.
- Sahib, N. G., Anwar, F., Gilani, A. H., Hamid, A. A., Saari, N., & Alkharfy, K. M. (2013). Coriander (*Coriandrum sativum* L.): A potential source of high-value components for functional foods and nutraceuticals-A review. *Phytotherapy Research*, 27(10), 1439-1456.
- Shahidi, F., y Wanasundara, P. K. (1992). Phenolic antioxidants. *Critical reviews in food science and nutrition*, 32(1), 67–103. <https://doi.org/10.1080/10408399209527581>
- Singleton, V., Orthofer, R., y Lamuela-Raventos, R. (1999). Analysis of Total Phenola and Other Oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. *Methods in Enzymology*, 299, 152-78. [https://doi.org/10.1016/S0076-6879\(99\)99017-1](https://doi.org/10.1016/S0076-6879(99)99017-1)
- Jazia, S., Wissem A, Talou T, Vilarem G y Marzouk B. Chemical composition and antioxidant activities of tunisian and canadian coriander (*Coriandrum sativum* L.) *Fruit. J Essent Oil Res.* 2011; 23(4):7–15. <https://doi:10.1080/10412905.2011.9700462>
- United States Pharmacopeial (USP 38). (2015). *Chemical Tests of articles of Botanical*. 1–54. <https://www.usp.org/sites/default/files/usp/document/our-work/DS/2015-dsc-chapters-561-616-1010-1092.pdf>
- Wei, J. N., Liu, Z. H., Zhao, Y. P., Zhao, L. L., Xue, T. K., y Lan, Q. K. (2019). Phytochemical and bioactive profile of *Coriandrum sativum* L. *Food chemistry*, 286, 260–267. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.01.171>
- World Health Organization. (2011). *Quality control methods for herbal materials*. World Health Organization. pp 187. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/44479>

Contribución de autores

Autor	Contribución
Elena Basurto Jimbo	Conceptos o ideas. Definición del contenido intelectual. Búsqueda bibliográfica. Estudios experimentales. Adquisición de datos. Análisis de datos. Preparación del manuscrito.
Viviana García Mir	Conceptos o ideas. Diseño. Definición del contenido intelectual. Búsqueda bibliográfica. Estudios experimentales. Análisis de datos. Análisis estadístico. Preparación, edición y revisión del manuscrito.
Estefanía Rueda Rodríguez	Búsqueda bibliográfica. Estudios experimentales. Adquisición de datos. Revisión del manuscrito.
Kevin Noles Ramón	Búsqueda bibliográfica. Estudios experimentales. Adquisición de datos.

Citación sugerida: Jimbo, E., Mir, V., Rodríguez, E., Ramon, K. (2021). Elaboración de una crema cosmética a partir de extractos de *Coriandrum Sativum*. Revista Bases de la Ciencia, 6(2), 153-166. DOI: https://doi.org/10.33936/rev_bas_de_la_ciencia.v%vi%i.3481 Recuperado de: <https://revistas.utm.edu.ec/index.php/Basedelaciencia/article/view/3481>

CONTROL DE VARIABLES ASOCIADAS CON LA CALIDAD EN EL PROCESO DE CORRUGADO MEDIANTE EL USO DE GRÁFICOS DE CONTROL MULTIVARIANTE

Oscar Vargas^{1*}, Víctor Márquez²

¹Estudiante de la Maestría de Trayectoria de Investigación en Estadística mención Estadística Aplicada. Instituto de Posgrado. Universidad Técnica de Manabí. E-mail: ovargas6003@utm.edu.ec

²Profesor. Instituto de Ciencias Básicas. Universidad Técnica de Manabí. E-mail: victor.marquez@utm.edu.ec

*Autor para la correspondencia: ogvargas@hotmail.com

Recibido: 12-10-2020 / Aceptado: 02-03-2021 / Publicación: 30-08-2021

Editor Académico: Ernesto Ponsot Balaguer

RESUMEN

El propósito de esta investigación es estudiar el proceso de producción de cartón corrugado en la empresa Productora Cartonera S. A. (PROCARSA). Para ello se evaluó el comportamiento de las variables de calidad resistencia al aplastamiento de borde (ECT) y Separación de espiga (PAT). Posterior al análisis descriptivo, a cada variable de calidad se le ajustó un diseño factorial, considerando como factores a evaluar Operador, Flauta, Liner (Papel externo del cartón) y Empaque. Se determinó que estos factores influyen de manera significativa sobre las variables de calidad. Para el caso de la variable ECT, todos los componentes del modelo resultan significativos, mientras que para la variable PAT, solo resultan significativos los efectos principales, algunas interacciones de orden dos y la interacción de orden cuatro. Se evaluó la correlación entre las variables de calidad, resultado estadísticamente significativa, lo que llevó a descartar el uso de gráficos de control univariantes para monitorear el proceso. Luego, se construyó un gráfico de control multivariante para determinar si el proceso está trabajando bajo control. En la fase 1 se presentó una señal fuera de control. Finalmente, se eliminó el punto fuera de control y se obtuvieron los límites finales de control. Estos límites se usarán en adelante para evaluar y monitorear el proceso.

Palabras clave: Control, Multivariante, Hotelling, Calidad.

CONTROL OF VARIABLES ASSOCIATED WITH QUALITY IN THE CORRUGATED PROCESS THROUGH THE USE OF MULTIVARIANT CONTROL CHARTS

ABSTRACT

The purpose of this research is to study the corrugated cardboard production process in the company Producer Carton S.A, PROCARSA. For this, the behavior of the quality variables resistance to edge crushing (ECT) and separation of dowel (PAT) was evaluated. After the descriptive analysis, a factorial design was adjusted to each quality variable, considering Operator, Flute, Liner, and Packaging as factors to be evaluated. It was determined that these factors have a significant influence on the quality variables. For the case of the ECT variable, all the components of the model are significant, while for the PAT variable, only the main effects, some interactions of order two, and the interaction of order

four are significant. The correlation between the quality variables was evaluated, the result statistically significant, which led to discarding the use of univariate control charts to monitor the process. Then, a multivariate control chart was constructed to determine if the process is working under control. In phase 1 there was a signal out of control. Finally, the out-of-control point was eliminated and the final limits of control were obtained. These limits will be used from now on to evaluate and monitor the process.

Keywords: Control, Multivariate, Hotelling, Quality.

CONTROLE DE VARIÁVEIS ASSOCIADAS COM A QUALIDADE NO PROCESSO DO CORRUGADO MEDIANTE O USO DE FIGURAS DE CONTROLE MULTIVARIANTE

RESUMO

O objetivo desta pesquisa é estudar o processo de produção de papelão ondulado na empresa Productora Cartonera S.A, PROCARSA. Para isso, avaliou-se o comportamento das variáveis de qualidade resistência ao esmagamento da borda (ECT) e separação de espiga (PAT). Após a análise descritiva, um planejamento fatorial foi ajustado para cada variável de qualidade, considerando Operador, Flauta, Liner e Embalagem como fatores a serem avaliados. Determinou-se que esses fatores influenciam significativamente as variáveis de qualidade. Para o caso da variável ECT, todos os componentes do modelo são significativos, enquanto para a variável PAT, apenas os efeitos principais, algumas interações de ordem dois e a interação de ordem quatro são significativos. Foi avaliada a correlação entre as variáveis de qualidade, resultado estatisticamente significativo, o que levou ao descarte do uso de gráficos de controle univariados para o monitoramento do processo. Em seguida, um gráfico de controle multivariado foi construído para determinar se o processo está funcionando sob controle. Na fase 1, houve um sinal fora de controle. Finalmente, o ponto fora de controle foi eliminado e os limites finais de controle foram obtidos. Esses limites serão usados a partir de agora para avaliar e monitorar o processo.

Palavras chave: Controle, Multivariado, Hotelling, Qualidade.

1. INTRODUCCIÓN

El éxito de una empresa depende en su mayor parte de la productividad y calidad de los bienes o servicios que produce. La calidad se ha convertido en una herramienta de vital importancia para que las empresas puedan crecer y mantenerse en el mercado de manera competitiva.

Herrera et al. (2017), afirman que desde hace tiempo las grandes industrias han reconocido que el mejoramiento de la calidad conduce a un aumento en la productividad, siendo conscientes de esta forma, de que existe la necesidad de implementar, analizar e investigar sistemas y procesos que conlleven al cumplimiento de metas con relación a los productos ofrecidos en el mercado, en una búsqueda constante de mejoras en los procesos de producción para mantenerse competitivamente en dicho mercado.

Esta realidad no es ajena a la alta Gerencia de la empresa Productora Cartonera S. A. (PROCARSA). Existen fallas durante el proceso de producción en el corrugado, lo cual conlleva a aumento de costos y disminución de la calidad, representando esto una seria amenaza en el cumplimiento de la tarea de mantenerse y ser competitiva en el mercado actual (Vargas, 2013).

La implementación de sistemas de calidad genera a las empresas importantes beneficios, tales como reducción de desperdicios, reducción de costos y de devoluciones. Esto es, el uso del control estadístico de la calidad, permite mejorar los procesos productivos, reducir costos, aumentar su competitividad y absorber una mayor capacidad de demanda (Mentado, 2015).

Juventino et al. (2017) consideraron que esta tendencia ha llevado al enfoque en la producción y el uso de sistemas de control de calidad, que además de proporcionar flexibilidad al proceso permitan disminuir costos que garanticen la reducción de falsas alarmas por cambios en el proceso y la disminución de unidades defectuosas, lo que permite aumentar la calidad en el producto final y la satisfacción del cliente.

Para ellos se usa el Control Estadístico de Procesos (CEP), sistema para la mejora continua de la calidad. Es una colección de herramientas estadísticas utilizadas entre otras cosas para medir, monitorear y controlar procesos por medio de gráficos o cartas de control. Se utiliza para revisar y garantizar que los procesos cumplan con las especificaciones de calidad establecidas (Herrera et al., 2018).

El CEP permite medir, monitorear y controlar una o más variables asociadas con la calidad en un proceso. El control estadístico de procesos univariante presenta varias limitaciones, las cuales son superadas a través de la inclusión de más de una variable y mirar cómo estas se correlacionan entre

sí (Herrera et al., 2018). La ventaja del método multivariado sobre el clásico, es que reduce en muchos casos la complejidad del problema.

Surge por tanto, la necesidad de aplicar herramientas estadísticas multivariantes para controlar en forma simultánea dos o más variables, lo que da origen al control estadístico multivariado, inicialmente introducido por Hotelling en 1947 (Montgomery, 2012).

Hace tiempo atrás, las técnicas de control multivariante resultaban en general muy complejas de utilizar, fundamentalmente por los aspectos y conceptos matemáticos que deben manejarse. Con el pasar del tiempo estas dificultades se han ido superando, dado los avances significativos en programas y software especializados en control estadístico de procesos.

Varias alternativas han surgido para llevar a cabo Control Estadístico de Procesos Multivariantes. Dada a la utilidad del Teorema de Límite Central y a las propiedades que poseen las variables aleatorias normales, muchas de estas alternativas o esquemas de control multivariante se han desarrollado para variables normales, siendo los gráficos T2 de Hotelling, sumas acumuladas (MCUSUM) y el de los promedios móviles exponencialmente ponderados (MEWMA), los más destacados.

Otras alternativas de interés son las basadas en componentes principales, así como la metodología integrada propuesta por Zamarrón (Plaza Rodas, 2017), la cual considera conjuntamente el gráfico T2 de Hotelling y la metodología de componentes principales.

Juventino et al. (2017), destacan la importancia de los avances de la tecnología y su uso en la implementación del análisis multivariante en los procesos de producción. Afirman que los gráficos multivariantes ayudan a tener un proceso robusto y eliminar todo tipo de desperdicio. Ellos muestran en su investigación cómo se realiza el monitoreo de más de dos variables mediante el uso del estadístico T2 de Hotelling, y como estos superan a los gráficos univariantes en la identificación de variables fuera de especificación.

La presente investigación está orientada a proponer un esquema de control de calidad que permita a la empresa PROCARSA cumplir con las exigencias actuales del sector cartonero, alcanzando un óptimo desempeño. El objetivo general fue implementar el Control Estadístico de Procesos en el área del proceso de corrugado de PROCARSA que le permita garantizar su competitividad y permanencia en el mercado.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Área de estudio

Para el desarrollo de esta investigación se consideró la información sobre las variables ECT (resistencia al aplastamiento de borde) y (Separación de espiga) PAT, relacionadas con el proceso de producción en la empresa Productora Cartonera S. A. (PROCARSA), recolectada durante el periodo enero-marzo del año 2020.

La información obtenida se organizó de acuerdo a los factores bajo estudio, de forma tal que se facilitará su manipulación y procesamiento. Inicialmente, se realizó un análisis descriptivo de los datos para evaluar su comportamiento y detectar situaciones no deseadas, tales como la presencia de valores atípicos.

Luego, haciendo uso del diseño de experimentos factorial y la técnica de análisis de varianza, se ajustaron modelos a las variables ECT y PAT, para determinar la significación estadística del efecto de los factores Operador, Flauta, Papel externo del cartón (la cual se denominará “liner” a lo largo del artículo) y Empaque sobre la variabilidad de dichas variables (Montgomery, 2007). La técnica de análisis de varianza permitió verificar las hipótesis de significación estadística para todos los efectos principales y efectos de interacción de todos los órdenes.

Finalmente, se desarrolló el Control Estadístico del Proceso mediante la construcción de un gráfico de control multivariante basado en el estadístico T2 de Hotelling. Este gráfico permite controlar simultáneamente, las características ECT y PAT.

La organización de los datos se hizo mediante Microsoft Excel y para el análisis estadístico, se usó el lenguaje de programación R.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La **tabla 1** muestra los valores medios y desviación estándar para la variable Resistencia al aplastamiento de borde, ECT, calculados para cada categoría de cada una de los factores considerados en la investigación. Puede observarse aquí que para los factores Flauta y Empaque, se producen diferencias en los valores medios de sus niveles que pueden considerarse significativas. Para Flauta, las diferencias más importantes se dan entre los niveles B y C con el nivel BC.

Tabla 1. Promedio y desviación estándar de ECT por categoría.

Variable	Categoría	Media	Desviación Estándar
Operador	Díaz	48,50	17,95
	Guerrero	48,99	19,60
	Triviño	49,28	18,29
	Romo	51,21	19,14
Liner	K	49,39	19,55

	W	47,21	13,81
	B	33,55	4,32
	BC	83,13	11,15
Flauta	BE	60,67	6,16
	C	39,91	6,53
	DB	61,61	3,30
Empaque	Banano	69,57	18,31
	Doméstico	42,03	12,56

Fuente: Elaboración propia.

La **Figura 1** muestra el comportamiento de los valores medios y variabilidad asociados con la variable ETC para los distintos niveles de los factores considerados. Puede ratificarse lo observado para los factores Flauta y Empaque, tanto en su valor medio como en su dispersión muestran diferencias aparentemente significativas para los distintos niveles. Para Operador y Liner, los valores medios parecen no mostrar diferencias significativas. En cuanto a su variabilidad, si se pueden apreciar diferencias importantes.

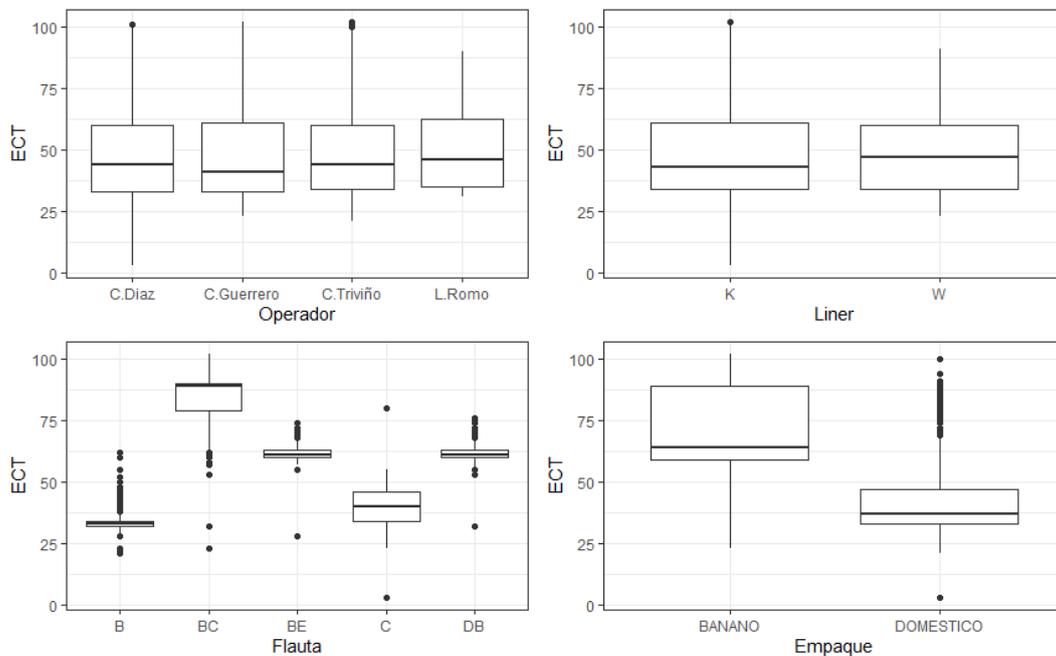


Figura 1. Gráfico de caja de la variable ETC según el Operador, Liner, Flauta y Empaque.

Fuente: Elaboración propia.

En la **tabla 2** se muestra los valores medios y desviación estándar para la variable Separación de espiga de acuerdo a las diferentes categorías de los factores en estudio. Se observan en general, valores más homogéneos, presentándose las diferencias más altas entre los niveles de los factores Flauta y Empaque.

Tabla 2. Promedio y desviación estándar de Separación de espiga por categoría.

Variable	Categoría	Media	Desviación Estándar
Operador	Díaz	47,13	4,98
	Guerrero	47,09	6,07
	Triviño	45,99	5,43
	Romo	43,43	3,49
Liner	K	46,53	5,53
	W	47,60	4,97
	B	40,23	3,39
Flauta	BC	50,56	4,45
	BE	54,00	0
	C	45,47	5,18
	Empaque	Banano	50,11
Doméstico		45,65	5,18

Fuente: Elaboración propia.

En la **figura 2** se presentan los valores medios y la dispersión en la variable PAT, para los distintos niveles de los factores en estudio. Confirmando lo observado en la **tabla 2**, puede apreciarse en este gráfico para la variable PAT, igual que en el caso de la variable ECT, las diferencias más importantes se producen para FLAUTA y EMPAQUE, sin que estas diferencias lleguen a ser de la magnitud que se presentan para ECT.

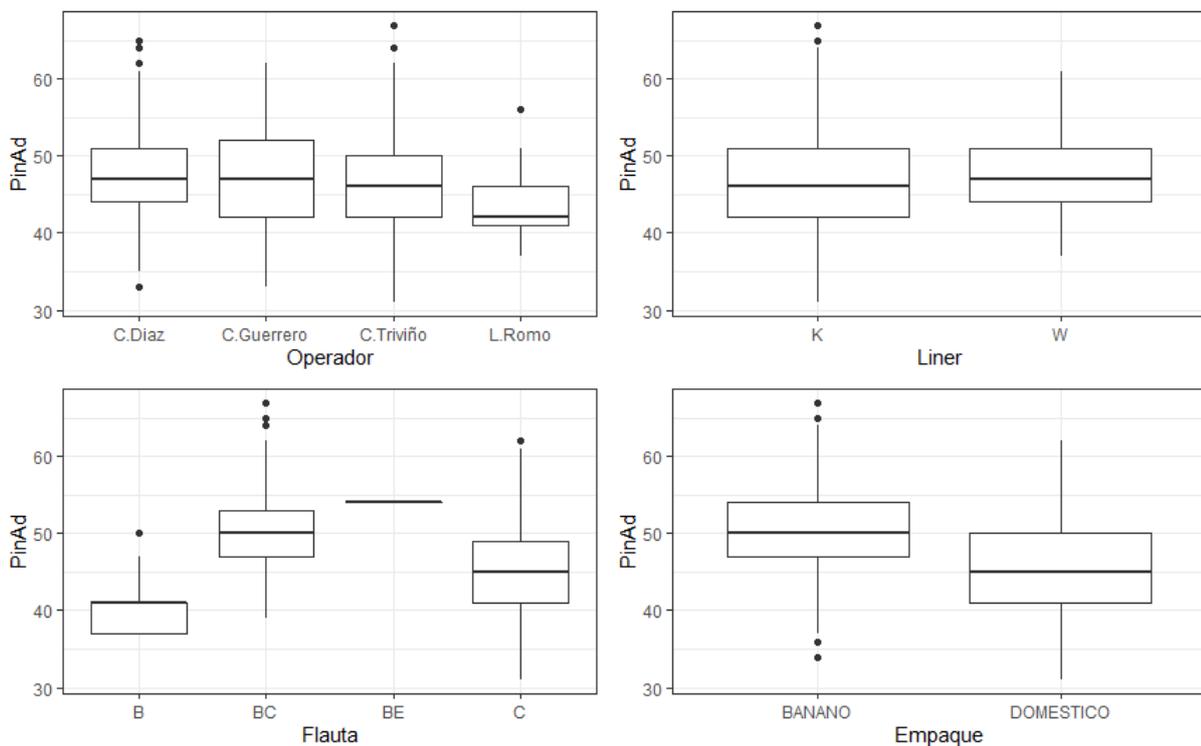


Figura 2. Gráfico de caja de la variable Separación de espiga según el Operador, Liner, Flauta y Empaque.

Fuente: Elaboración propia.

Ahora bien, dado que los métodos gráficos descriptivos no son en general, definitivos, para determinar las verdaderas diferencias es necesario recurrir al análisis de varianza. En esta investigación se estudia el efecto que sobre las variables de control ECT y Separación de espiga,

tienen los factores Operador, Flauta, Liner y Empaque. Para ello se ajusta un diseño de experimentos factorial.

El diseño factorial permite estudiar la influencia de dos o más factores sobre la variable dependiente. En estos experimentos factoriales se pueden considerar por separado los efectos individuales de los factores y además se puede estudiar su interacción, que se introduce en el modelo de forma multiplicativa. El modelo ajustado aquí está dado por:

$$Y_{ijklr} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + \delta_l + \alpha\beta_{ij} + \alpha\gamma_{ij} + \alpha\delta_{il} + \beta\gamma_{jk} + \beta\delta_{jl} + \gamma\delta_{kl} + \alpha\beta\gamma_{ijk} + \alpha\beta\delta_{ijl} + \alpha\gamma\delta_{ikl} + \beta\gamma\delta_{jkl} + \alpha\beta\gamma\delta_{ijkl} + \varepsilon_{ijklr}$$

Donde μ es la media general; α_i , β_j , γ_k y δ_l son los efectos principales de los tratamientos i, j, k y l de los factores Operador, Flauta, Liner y Empaque, respectivamente; $\alpha\beta_{ij}$, $\alpha\gamma_{ij}$, $\alpha\delta_{il}$, $\beta\gamma_{jk}$, $\beta\delta_{jl}$ y $\gamma\delta_{kl}$ los efectos de interacción doble; $\alpha\beta\gamma_{ijk}$, $\alpha\beta\delta_{ijl}$, $\alpha\gamma\delta_{ikl}$ y $\beta\gamma\delta_{jkl}$ son los efectos de interacción triple; $\alpha\beta\gamma\delta_{ijkl}$ es el efecto de interacción de orden 4; ε_{ijklr} es el término de error aleatorio. Los ε_{ijklr} son independientes y se distribuyen idénticamente de acuerdo a una distribución normal con media 0 y varianza constante σ^2 .

En este caso, la técnica de análisis de varianza, permite probar un conjunto de 15 hipótesis; 4 efectos principales, 6 efectos de interacción doble, 4 efectos de interacción triple y un efecto de interacción de orden 4. Probar la significación estadística del factor Operador, es decir, verificar si existe efecto del factor Operador sobre la variable ECT (PAT), es equivalente a probar la hipótesis:

$$H_0: \alpha_i = 0; \forall i; i = 1,2,3,4$$

Ecuación e2

Rechazar esta hipótesis indica que el factor Operador tiene efecto sobre ECT (PAT). Planteamientos similares se hacen para los demás factores.

Para evaluar el efecto de interacción (efecto conjunto) de los factores Operador y Flauta, se prueba la significación estadística de la hipótesis:

$$H_0: \alpha\beta_{ij} = 0; \forall ij; i = 1,2,3,4, j = 1,2,3,4$$

Ecuación e3

Igual que en el caso de efectos principales, rechazar esta hipótesis indica que existe efecto conjunto de estos factores sobre la respuesta. Para las demás interacciones de orden dos se prueban hipótesis similares.

De igual manera se plantean las hipótesis para probar la significación de los 4 efectos de interacción de orden tres y para el efecto de interacción de orden cuatro.

En la **figura 3** puede apreciarse el valor medio de ETC para las distintas combinaciones de tratamientos para las 6 interacciones dobles. Obsérvese que las líneas que se muestran en este gráfico no resultan paralelas en ninguno de los casos, lo que se corresponde con la presencia de una interacción significativa, como se muestra posteriormente en la tabla de análisis de varianza del modelo ajustado.

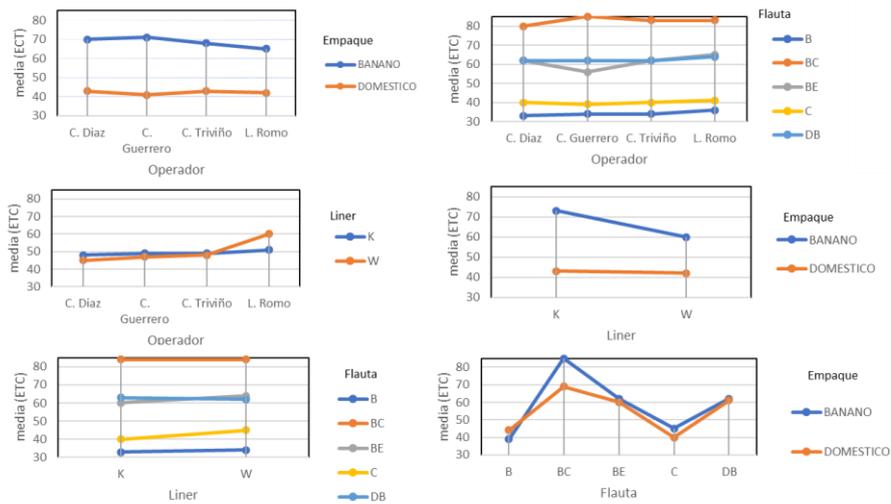


Figura 3. Interacciones dobles entre los factores bajo estudio para la variable ECT.
Fuente: Elaboración propia.

En la **tabla 3** se presenta la tabla de análisis de varianza resultante al ajustar el diseño factorial asociado con la variable de calidad ECT. A excepción de la interacción Operador:Liner:Empaque, todos los demás efectos resultan significativos a un nivel de significación del 1%. De esta forma puede apreciarse que todos los factores evaluados, de manera individual, así como sus interacciones, tiene un efecto significativo sobre la variabilidad de ECT.

Las interacciones significativas implican que el efecto de uno factores difieren para los distintos niveles de otro factor, es decir, el efecto que un factor tiene sobre la ECT depende del nivel en el que se encuentran los demás factores.

Tabla 3. Tabla de análisis de varianza de la variable ECT

Fuente de Variación	gl	Suma de Cuadrado	Media Cuadrado	F	p-valor
Operador	3	2358	786	21,13	0,000
Flauta	4	2847689	711922	19144,33	0,000
Liner	1	5812	5812	156,28	0,000

Empaque	1	56829	56829	1528,20	0,000
Operador*Flauta	12	9351	779	20,95	0,000
Operador*Liner	3	563	188	5,05	0,001
Flauta*Liner	4	5798	1449	38,97	0,000
Operador*Empaque	3	756	252	6,77	0,000
Flauta*Empaque	4	31001	7750	208,41	0,000
Linear*Empaque	1	725	725	19,5	0,000
Operador*Flauta*Liner	12	2130	177	4,77	0,000
Operador*Flauta*Empaque	11	3143	286	7,68	0,000
Operador*Liner*Empaque	3	185	62	1,65	0,173
Flauta*Liner*Empaque	4	942	235	6,33	0,000
Operador*Flauta*Liner*Empaque	9	975	108	2,91	0,001
Error	9544	354914	37		

Fuente: Elaboración propia.

En la **figura 4** puede apreciarse el valor medio de la variable Separación de espiga, PAT, para los distintos tratamientos resultantes de las interacciones dobles entre los niveles de los factores presentes en esta investigación. Igual que en el caso de ECT, las líneas que se dibujan en estos gráficos, en general, no son paralelas, lo que indica que a excepción de las interacciones Operador: Empaque y Flauta: Empaque, en las demás existen evidencias de que estas interacciones sean significativas. Estas evidencias se verifican mediante el uso del análisis de varianza.

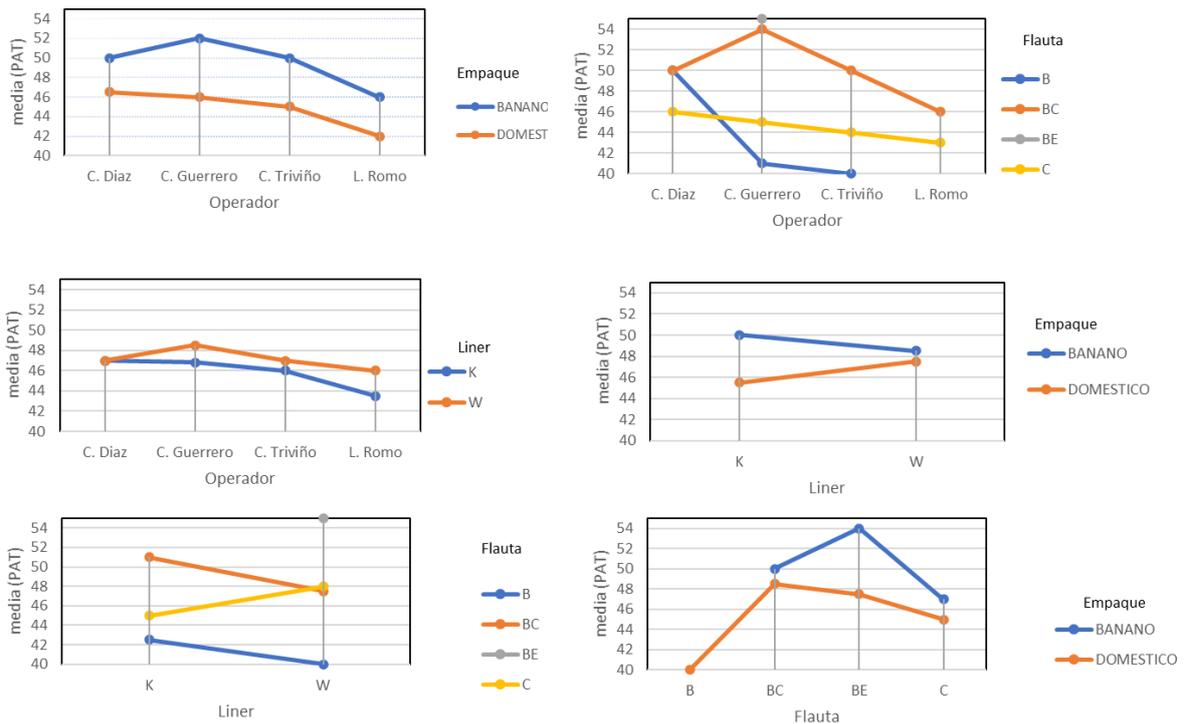


Figura 4. Interacciones dobles entre los factores bajo estudio para la variable PAT.

Fuente: Elaboración propia.

En la **tabla 4** se muestra la tabla de análisis de varianza, resultado del ajuste del diseño factorial asociado con la variable PAT. Puede observarse aquí que sólo resultan significativos los efectos principales y algunas interacciones dobles. Puede apreciarse que como se sospechaba al observar la

figura 5, las interacciones dobles Operador:Empaque y Flauta:Empaque, resultan no significativas. Tampoco resultan significativas las interacciones de orden tres, pero si la interacción de orden cuatro.

Figura 4. Tabla de análisis de varianza de la variable PAT.

Fuente de Variación	gl	Suma de Cuadrado	Media Cuadrado	F	p-valor
Operador	3	3992	1331	57,61	0,000
Flauta	3	32696	10899	471,84	0,000
Liner	1	2405	2405	104,11	0,000
Empaque	1	3871	3871	167,57	0,000
Operador*Flauta	5	1321	264	11,43	0,000
Operador*Liner	3	711	237	10,25	0,000
Flauta*Liner	2	1625	812	35,17	0,000
Operador*Empaque	3	69	23	0,99	0,393
Flauta*Empaque	1	72	72	3,10	0,077
Liner*Empaque	1	219	219	9,46	0,002
Operador*Flauta*Liner	3	101	34	1,45	0,226
Operador*Flauta*Empaque	3	32	11	0,46	0,705
Operador*Liner*Empaque	3	120	40	1,73	0,157
Flauta*Liner*Empaque	1	13	13	0,56	0,450
Operador*Flauta*Liner*Empaque	2	145	73	3,14	0,043
Error	6707	154918	23		

Fuente: Elaboración propia.

Para establecer el control estadístico del proceso que involucra más de una variable de calidad se puede seguir una de las siguientes opciones: 1) la construcción de gráficos de control univariantes para cada variable o, 2) la construcción de un gráfico de control multivariante.

En el caso objeto de esta investigación, se tienen dos variables de calidad; Resistencia al aplastamiento de borde (ECT), y Separación de espiga (PAT). Para tomar la decisión sobre la opción a seguir para establecer el control estadístico del proceso, se calcula el coeficiente de correlación entre ambas variables, ρ_{xy} , y se determina su significación estadística. El valor estimado de este coeficiente es 0,40. Se debe ahora, probar la hipótesis

$$H_0: \rho_{xy} = 0 \text{ vs } H_1: \rho_{xy} \neq 0$$

El estadístico de prueba viene dado por

$$t = r * \sqrt{\frac{n - 2}{1 - r^2}}$$

Donde r es el estimador de ρ_{xy} , n es el tamaño de muestra y t sigue una distribución t de student con $n - 2$ grados de libertad.

El valor del estadístico $t=4,32$, resulta significativo a un nivel de significación del 1%. Por tanto, la correlación entre ECT y PAT, resulta significativa. Luego, se considera la opción, construir un gráfico de control multivariante.

Usando el lenguaje de programación R, se procede a elaborar el gráfico de control basado en el estadístico T^2 de Hotelling. La figura 5 muestra el gráfico de control para la fase 1, es decir, elaboración de los límites de control iniciales. Estos límites de control son:

$$LCI = 0 \quad LCS = 8,878$$

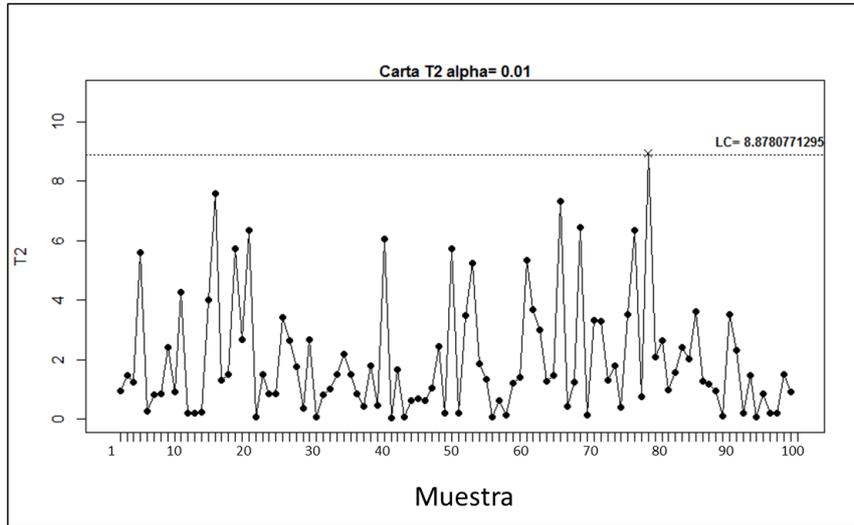


Figura 5. Gráfico de control T^2 de Hotelling, fase 1.

Fuente: Elaboración propia.

Puede observarse en la **figura 5** que el punto número 79 está fuera de control. Luego, debe ser extraído de la muestra y proceder a desarrollar la fase 2, obtener los límites de control con el proceso bajo control.

La fase 2 consiste simplemente en eliminar del conjunto de datos la observación que motivó la señal fuera de control y se recalculan los límites de control, repitiendo el procedimiento. El gráfico de control final se muestra en la figura 6. Puede observarse allí que todos los puntos están dentro de los límites de control, lo que indica que el proceso está bajo control. Los límites inferior y superior obtenidos en esta segunda fase son:

$$LCI = 0 \quad LCS = 8,875$$

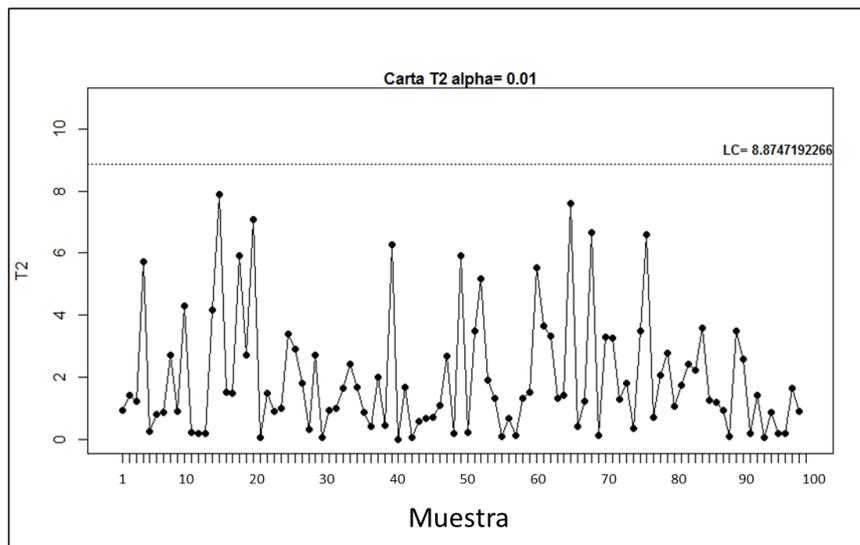


Figura 6. Gráfico de control T^2 de Hotelling, fase 2.
Fuente: Elaboración propia.

4. CONCLUSIONES

Para la empresa PROCARSA, resulta fundamental hacer uso de las herramientas de control de calidad. En los tiempos actuales, la calidad es una obligación si se quiere mantener en el mercado ofreciendo producto y/o servicios de calidad, que le permita crecer, mantenerse en el mercado y ser competitiva.

El Control Estadístico de Procesos, como una parte del Control Total de Calidad tiene como gran objetivo la satisfacción final del consumidor. Representa más que el monitoreo de un proceso, es un sistema para el mejoramiento de la calidad.

Los factores Operador, Flauta, Liner y Empaque, tienen un efecto estadísticamente significativo sobre las características de calidad del cartón corrugado producido en la empresa PROCARSA.

El efecto de interacción resulta significativo, lo que implica que debe evaluarse el efecto conjunto de los factores. En ambos casos, resulta significativo el efecto de interacción de orden cuatro. El efecto de un factor depende de los niveles en los que se encuentran los demás factores. Esto es, no puede analizarse el efecto de cada factor por separado.

Al evaluar la correlación entre las variables de calidad, ECT y PAT, el mismo resulta significativo. Por tanto, se concluye que es necesario el uso de herramientas multivariante de control de calidad para evaluar y monitorear el proceso.

Al obtener el gráfico T^2 en su primera, se observa que, de los 100 puntos graficados, uno de ellos está fuera de control. Esta señal indica que el proceso está fuera de control.

El gráfico obtenido en la fase 2, una vez eliminado el punto que motivó la señal fuera de control, puede ser utilizado para evaluar y monitorear el proceso de producción de cartón corrugado en PROCARSA.

5. REFERENCIAS

- Herrera Acosta, R., Hernández Alvear, K., Figueroa Gélvez, E., & De La Ossa De Ávila, J. (2018). Aplicación del control estadístico multivariado para medir la capacidad del proceso de fabricación de resortes de compresión en acero inoxidable. *Prospectiva*, 16(2), 49-58.
- Herrera, R. H., Ruiz, S., & Salcedo, L. (2017). Desarrollo de índices de capacidad de proceso para un perfil polinómico en una empresa de elaboración de salsas. *Investigación e Innovación en Ingeniería*, 6(2), 56-66.
- Juventino, O., Molina, R., Martínez, E., & Hernández, J. (2017). *Control estadístico multivariante de proceso aplicado en la industria*. Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. México.
- Mentado, I. (2015). *Propuesta para la certificación del sistema de gestión de la calidad para el laboratorio de pruebas de una planta de fabricación de empaques de cartón corrugado*. Trabajo de Grado. Instituto Politécnico Nacional. México.
- Montgomery, D. C. (2012). *Introduction to Statistical Quality Control*. 6th edition. John Wiley & Sons, Inc. United States of America.
- Plaza Rodas, A. E. (2017). *Diseño de gráficos de control multivariantes basado en la combinación lineal de variables normales*. Trabajo de Grado. Escuela Superior Politécnica del Litoral. Guayaquil, Ecuador.
- Vargas, N. (2001). *Introducción al control estadístico de calidad. Notas de Clase*. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.

Contribución de autores

Autor	Contribución
Oscar Vargas	Toma de muestras, cálculo de límites de control, Estimación de parámetros distribucionales de las variables involucradas en el estudio. Redacción del artículo
Víctor Márquez	Diseño de las cartas de control y elección de los estimadores para los parámetros. Revisión y corrección de la redacción

Citación sugerida: Vargas, O., Márquez, V. (2021). Control de variables asociadas con la calidad en el proceso de corrugado mediante el uso de gráficos de control multivariante. *Revista Bases de la Ciencia*, 6(2), 167-180. DOI: https://doi.org/10.33936/rev_bas_de_la_ciencia.v%vi%i.2751 Recuperado de: <https://revistas.utm.edu.ec/index.php/Basedelaciencia/article/view/2751>



Revista Bases de la Ciencia está indexada en las siguientes Bases de Datos





OpenAIRE



Google académico





REVISTA BASES DE LA CIENCIA

BASES DE LA CIENCIA es una Revista Científica Arbitrada de edición continua, en formato exclusivamente electrónico (e-ISSN: 2588-0764) que inició sus actividades en Septiembre del año 2016. Publica artículos originales, notas técnicas, comunicaciones cortas, artículos de divulgación y revisiones bibliográficas de las áreas de Biología, Física, Matemática, Química, Geociencias y afines que contengan resultados de investigación experimentales, teóricos y aplicados que representen aportes significativos al conocimiento y que no hayan sido propuestos simultáneamente a otras revistas. A partir del año 2018 el **Comité Científico Internacional** de la Revista Bases de la Ciencia decidió eliminar la temática áreas afines por ser muy amplia.

La Revista Bases de la Ciencia tiene como finalidad primordial la difusión y divulgación de los avances de la Ciencia ecuatoriana, hispanoamericana y el caribe. Actualmente, se conforma por las secciones permanentes: Biología, Física, Matemática, Química y Geociencias que contengan resultados de investigación experimentales, teóricos y aplicados que aportan a la academia de Hispanoamérica y el Caribe.

La revista está dirigida a autoridades, docentes, estudiantes de maestría y doctorado, emprendedores, investigadores, profesionales, instituciones públicas y privadas y todas las personas interesadas por las áreas de ciencias mencionadas. La Revista cuenta con el apoyo de la Universidad Técnica de Manabí.

La revista tiene una periodicidad cuatrimestral (tres números en el año), de edición continua en formato exclusivamente electrónico (e-ISSN: 2588-0764) es editada por el Instituto de Ciencias Básicas de la Universidad Técnica de Manabí-Portoviejo y recibe artículos en los idiomas español, inglés y portugués.

Se encuentra disponible en versión digital con acceso libre (<http://revistas.utm.edu.ec/index.php/Basedelaciencia/index>) y no tiene costos asociados por publicación.



ENVIO DE LOS MANUSCRITOS

La recepción de los artículos es permanente. Los autores que deseen publicar pueden solicitar el registro en la Revista Bases de la Ciencia, enviando los siguientes datos: nombre, apellido, afiliación institucional, país, temática en la cual estaría dispuesta a ser revisor externo de la revista, al siguiente correo revistabasesdelaciencia@gmail.com y se le asignará un usuario y clave. La clave es temporal puede ser modificada por el investigador. También pueden registrarse directamente en el Open Journal System (<http://revistas.utm.edu.ec/index.php/Basedelaciencia/user/register>) y enviar desde allí el artículo con una carta de intención y aprobación en la que se debe indicar lo siguiente: Nombre(s) completo(s) del(los) autor(es) y direcciones para envío de correspondencia (es necesario colocar una dirección de correo electrónico con el autor o persona encargada con la cual estableceremos contacto). Se debe llenar los 2 formatos siguientes:

1.- Cesión de derechos y 2.- Solicitud de publicación de artículo.

Aunque el autor podrá remitir esta información a través de los correos electrónicos: revistabasesdelaciencia@gmail.com; revistabasesdelaciencia@utm.edu.ec.

El envío de un artículo a la revista implica que ha sido aprobado por todos los autores y están de acuerdo con su contenido en el caso de ser publicado. Se entenderá que el documento sometido a la revista no ha sido enviado, ni publicado en ninguna otra revista científica, es decir, es inédito y original. Aunque todas las contribuciones estarán sujetas a revisión previa, la responsabilidad por el contenido de la misma recae sobre los autores y no sobre los editores, el comité editorial o la Universidad Técnica de Manabí.

Artículos aceptados por la revista Bases de la Ciencia

La revista BASES DE LA CIENCIA publica artículos originales, notas técnicas, comunicaciones cortas, artículos de divulgación y revisiones bibliográficas de investigadores relacionadas con todos los aspectos científicos modernos de las áreas de



interés de la revista que representen aportes significativos al conocimiento y que no hayan sido propuestos simultáneamente a otras revistas.

Los artículos originales deben ser el resultado de estudios de campo o de laboratorio que aporten información nueva o el análisis estadístico de una gran colección de resultados de trabajos individuales con el propósito de integrar los hallazgos. Las Notas Técnicas o Comunicaciones Cortas están reservadas a tópicos de interés tales como observaciones, extensión de datos u otros hallazgos que por sí solos no constituyen un estudio comprensivo.

a. Para los artículos originales se recomienda su división en: Título se escribe con mayúsculas (en inglés, español y portugués), autores y procedencia (dirección postal institucional precisa, incluir Email), Resumen, Palabras Clave, Abstract, Key Words, Introducción, Metodología (si el autor desea puede ser dividido en Materiales y Métodos), Resultados, Discusión (o Resultados y Discusión), Conclusiones, Agradecimientos y Referencias. Las tablas y leyendas de las figuras deben ser incluidas en el texto.

b. Las Notas Técnicas o Comunicaciones Cortas se escriben de forma corrida con la estructura siguiente: Título, autores y procedencia, Resumen, Introducción, Metodología (si el autor desea puede ser dividido en Materiales y Métodos), Resultados y Discusión, Conclusiones, Referencias.

c. Las Revisiones se recomienda citar por lo menos 40 referencias del tema a analizar. Su estructura es la siguiente: Resumen, Introducción, Metodología, Desarrollo y discusión, Conclusiones y Referencias. Igualmente, en el envío del manuscrito debe señalarse el área de pertinencia o la línea de investigación a la cual pertenece.

Los artículos deben someterse a arbitraje en línea a través de la siguiente dirección: <http://revistas.utm.edu.ec/index.php/Basedelaciencia>. Presentar el artículo mediante comunicación escrita dirigida al Editor (a) General de la Revista Bases de la Ciencia, en soporte digital a los Correos electrónicos: revistabasesdelaciencia@utm.edu.ec; revistabasesdelaciencia@gmail.com. En la comunicación escrita el autor debe expresar el tipo de documento (artículo original, nota técnica, comunicaciones cortas, artículo de divulgación o revisiones) y sección a la que postula su trabajo (Ciencias físicas, Ciencias



Químicas, Ciencias Matemáticas, Ciencias Biológicas o Geociencias). Debe adjuntar la hoja de vida del autor en Correspondencia, y carta de postulación en la que exprese claramente que conoce y acepta la política editorial de Bases de la Ciencia; cede los derechos de reproducción y distribución del artículo; la originalidad del trabajo y su declaración de que no tiene conflicto de intereses (en lo comercial, propiedad intelectual, relevancia académica, financiero). Llenar formatos de Cesión de derechos y Solicitud de publicación.

ESTRUCTURA DE LOS ARTÍCULOS

Normas Editoriales Generales: El texto completo debe hacerse en Word, con todos los márgenes de 2,0 cm, a 1 1/2, letra Times New Roman tamaño 12, escrito por una sola cara. El texto no debe exceder de 20 páginas (incluyendo tablas y figuras) salvo que cuente con autorización del Editor General para un número de páginas superior. Numere todas las páginas margen inferior derecho. Los números decimales deben ser separados por comas (,) si el trabajo está en español y punto (.) si es en inglés. Los artículos pueden ser escritos en español, portugués o en inglés (en todos los casos el resumen debe estar en los tres idiomas).

1. Título. En español, inglés y portugués y no exceder de 20 palabras. Debe ser explicativo y contener la esencia del trabajo, evite el uso de fórmulas o expresiones técnicas muy largas. En mayúscula, negritas y centrado.

2. Autores. Deben indicarse nombres y apellidos. Ejemplo:

Lelly María Useche Castro^{1*}, Olga Lilian Mendoza Talledo¹, Rosalba Karen Bravo Saltos¹, Miguel Ángel Lapo Palacios¹

3. Direcciones. Se debe escribir la dirección completa de la Institución donde se realizó el trabajo y aquellas a las cuales donde pertenecen los autores. Indique con símbolos a que autor corresponde cada dirección. Indique, además, el autor de correspondencia, su dirección electrónica mediante un asterisco (*) y el identificador ORCID. Los autores que carezcan de este indicador personal pueden registrarse en <https://orcid.org/register>.



Ejemplo: ¹Departamento de Matemáticas y Estadística. Instituto de Ciencias Básicas. Universidad Técnica de Manabí. Ecuador.

*Autor para correspondencia: luseche@utm.edu.ec

Dra. Lelly María Useche Castro: <https://orcid.org/0000-0002-4294-9009>

MSc. Olga Lilian Mendoza Talledo: <https://orcid.org/0000-0001-6053-562X>

MSc. Rosalba Karen Bravo Saltos: <https://orcid.org/0000-0002-3991-864X>

MSc. Miguel Ángel Lapo Palacios: <https://orcid.org/0000-0003-4183-4290>

4. Resumen, Abstract y Resumo. No mayor de 250 palabras. Debe presentarse en español, inglés y portugués. Los resúmenes en los diferentes idiomas deben parecerse lo más posible entre sí. Los autores pueden buscar asistencia con alguna persona que hable el idioma (que el autor no domine) de manera fluida. La traducción mediante el uso de programas de traducción no debe ser utilizada en ningún caso. El resumen contendrá los objetivos, metodología, principales resultados y conclusiones. No incluir referencias y debe escribirse en letra Times New Roman 10 a un solo párrafo.

5. Palabras clave. Deben colocarse al finalizar el resumen, abstract o resumo. Incluir un máximo de 5 palabras clave, necesarias para la mejor ubicación en los índices internacionales.

6. Introducción. En esta sección, redactada en presente, el autor expresa el propósito del artículo, alcances, el contexto del problema a resolver, para lo cual presenta en forma breve las más recientes e importantes investigaciones relacionadas con el tema, que en promedio tengan 10 años de antigüedad, salvo los clásicos de consulta obligada. Son fundamentales la hipótesis o pregunta de la investigación y el problema planteado. Finalice con el objetivo de la investigación.

7. Metodología (Materiales y métodos). Esta sección tiene como propósito entregar información para que el estudio sea replicado. Se redacta en pasado. Debe señalar cómo estudió el problema, por tanto, expresar claramente todos los protocolos, métodos y



características relevantes de los materiales empleados para llegar a los resultados. No debe describirse un método si ya está descrito en la bibliografía; basta con presentar la cita bibliográfica. Si utiliza un método modificado, debe señalarse claramente la modificación. Es fundamental presentar los materiales evaluados (especificaciones técnicas, cantidades, procedencia o método de preparación, nombres genéricos o químicos evitando los comerciales), y el análisis estadístico (debe realizarse mediante software especializado).

8. Resultados. Se debe explicar con claridad y precisión los hallazgos, complementados con tablas y figuras las que se enumeran correlativamente a medida que se mencionan en el texto. Evite repetir la información de las tablas y figuras, sólo destaque lo más relevante. Las tablas y figuras deben ser autoexplicativos de tal manera que el lector no tenga que ir al texto para entender la información que se entrega; los nombres científicos, abreviaturas, unidades, entre otros, deben ser incluidos. Se redacta en pasado.

9. Discusión. Es la sección para interpretar los hallazgos, exponer su importancia, implicaciones, relaciones con otros estudios, alcances teóricos y aportes al avance de la ciencia. La discusión debe sustentarse en el análisis estadístico y aportes de otros autores con estudios similares, más no en apreciaciones subjetivas. Si el autor desea puede unir resultados y discusión.

10. Conclusión. Es una síntesis de los hallazgos y deben corresponderse con los objetivos planteados.

11. Agradecimiento. Es opcional y no debe extenderse más allá de las 100 palabras.

12. Tablas. Se deben incluir y citarse en el texto. Deben presentarse con líneas en la parte superior e inferior de los encabezados de la misma, así como al final de la tabla. Se identificarán con números arábigos (Ejemplo: Tabla 1) y llevarán un encabezamiento descriptivo. Las abreviaturas se explicarán al pie de la tabla.

13. Figuras. Se deben incluir y citarse en el texto. Las figuras se identificarán con números arábigos (Ejemplo: Figura 1). Evite el uso de fondos coloreados o grises. Utilice diferentes tipos de líneas y símbolos en figuras con múltiples líneas. Las leyendas sobre los ejes X y Y deben ser de tamaño legible.



14. Fotografías. Se deben incluir y citarse en el texto. Deberán ser reproducciones nítidas. Su tamaño no excederá el de la hoja impresa. No deben montarse. Se indicará la magnificación de las microfotografías.

15. Referencias. Estas deben ser actualizadas. Los autores son responsables de la fidelidad de las referencias. Se debe incluir una lista completa de todas las referencias, las cuáles serán ordenadas alfabéticamente por el apellido del primer autor de cada cita del documento y con sangría francesa, siguiendo las normas de citación y de estilo de la American Psychological Association (APA), última versión.

Cuando las evaluaciones de los árbitros estén completas, éstas serán remitidas a los autores para su corrección y serán recibidas en un lapso no mayor a 45 días (para evaluaciones con ligeras modificaciones) o no mayores a 60 días (para modificaciones sustanciales). De no recibirse en el lapso establecido, se asumirá el retiro del manuscrito por parte del autor o autores.



Solicitud de Publicación de Artículo

Día de Mes del Año

A: Comité Editorial de la Revista Bases de la Ciencia.

Solicito la revisión para su publicación, de considerarlo conveniente, del artículo titulado:

Tema del artículo. Afirmamos que lo expresado en el artículo es creación propia de los autores y las partes seleccionadas de otros documentos científicos han sido correctamente citadas respetando los derechos de cada autor.

Los autores ratifican mediante su firma que se comprometen a cumplir con el **Código de Ética de los Autores** publicado en la segunda página y que han utilizado el documento **Autoevaluación del trabajo antes de ser enviado para su consideración de publicación en la revista** el cual adjuntan al envío de esta solicitud.

En espera de su respuesta, atentamente;

	Nombres y Apellidos	Firma
Autor 1		
Autor 2		
Autor 3		
Autor 4		
Autor 5		
Autor 6		

Observación: El envío de un artículo a la revista implica que ha sido aprobado por todos los autores y están de acuerdo con su contenido en el caso de ser publicado. Se entenderá que el documento sometido a la revista no ha sido enviado, ni publicado en ninguna otra revista científica, es decir, es inédito y original. Aunque todas las contribuciones estarán



sujetas a revisión previa, la responsabilidad por el contenido de la misma recae sobre los autores y no sobre los editores, el comité editorial o la Universidad Técnica de Manabí.

Describa en un párrafo no mayor de cinco (5) líneas la novedad del trabajo presentado

Código de Ética de los Autores

1. La responsabilidad principal del autor es presentar para su publicación una descripción científica y rigurosa de su trabajo de investigación experimental, teórica o tecnológica, con una discusión objetiva de sus resultados.
2. El artículo presentado debe contener suficientes referencias de fuentes públicas. Esto debe permitir que los profesionales que consulten su trabajo puedan verificar las fuentes. El autor debe citar y dar la adecuada atribución a aquellas publicaciones que han influido y determinado la naturaleza del artículo a publicar con el objetivo de guiar al lector hacia trabajos anteriores que le ayuden a comprender el trabajo publicado.
3. Las informaciones obtenidas por el autor de forma privada, producto de la conversación, la correspondencia o la discusión con terceros, no será usada o declarada en el trabajo sin el permiso explícito de las personas a través de la cuales fue obtenida. La información adquirida a partir de trabajos en fase de revisión o aplicaciones de colaboración, serán tratadas de la misma forma.
4. El artículo presentado no contendrá material plagiado o falseará los datos de la investigación. Además, los autores deben confirmar que el artículo no ha sido publicado en ningún tipo de medio con anterioridad ni tampoco pueden haberlo presentado a otra revista simultáneamente.
5. El autor no debe fragmentar su trabajo de investigación para su publicación. Los autores que han realizado su trabajo sobre un sistema o grupo de sistemas relacionados organizarán la publicación del mismo con el propósito de que cada artículo dé una descripción completa de un aspecto especial del estudio general. No es ético que un autor presente, para su publicación más de un trabajo que describa la misma investigación o proyecto a más de una revista.
6. Es ética la crítica sobre los contenidos y criterios de un trabajo publicado; sin embargo, no es aceptable la crítica personal.



7. Para proteger la integridad de la autoría del trabajo, solamente los profesionales que han colaborado en la investigación o el proyecto y confección del artículo serán enumerados como coautores. El autor principal da fe del hecho de haber incluido a todos los coautores del trabajo al entregar la solicitud de publicación.
8. El autor no debe presentar cambios en el contenido de su trabajo después de que ha sido aceptado y se le ha devuelto para que realice las correcciones propuestas. Si existiera una razón de peso para realizar cambios el autor debe informarlos al Comité Editorial y este tiene la autoridad para aprobar o no los cambios propuestos.
9. El autor no debe conocer el nombre de los árbitros o indagar sobre los mismos.
10. Los autores cuya investigación involucre seres humanos o animales son responsables de la aprobación por el Comité de Bioética de la Investigación de la institución en que se hizo el estudio e identificarlo en el texto de la forma siguiente:

Responsabilidades éticas

Protección de personas y animales. Los autores declaran que para esta investigación no se han realizado experimentos en seres humanos ni en animales.

Confidencialidad de los datos. Los autores declaran que en este artículo no aparecen datos de pacientes.

Conflicto de Intereses: Ninguno.

Envíe este documento en formato **.pdf**



Día de Mes del Año

A: Comité Editorial

Cesión de Derechos de Autor

Hacemos constar mediante el presente documento, que el(los) autor(es) cede(n) a la revista Bases de la Ciencia los derechos de autor del artículo titulado:

Título del artículo

El(los) autor(es) autoriza(n) la publicación y difusión del artículo mencionado, según lo disponga la Revista Bases de la Ciencia.

El(los) autor(es) firmantes garantiza(n) que el documento es original, no ha sido publicado total, ni parcialmente, en otra revista o medio de difusión físico o electrónico, ni ha sido presentado para publicar en otra revista.

De igual forma, los autores firmantes reconocemos que la revista asume como suyos los principios del acceso abierto establecidos en las declaraciones de Berlin, Bethesda y Budapest, razón por la cual aceptamos que el trabajo que se presenta sea distribuido en acceso abierto, protegiendo los derechos de autor bajo una licencia “creative commons”.

Declaramos nuestro acuerdo con todo lo expresado en el presente documento.

	Nombres y Apellidos	Firma
Autor 1		
Autor 2		
Autor 3		
Autor 4		
Autor 5		
Autor 6		

Observación: El orden de los autores expresa la forma de participación en el artículo.
Envíe este documento en formato .pdf



CONSEJO EDITORIAL

DIRECTORA

Dra. Yulixis Nohemi Cano de Torres. (**Ecuador**)/ycano@utm.edu.ec,
yulixiscano@gmail.com / Instituto de Ciencias Básicas. Universidad Técnica de Manabí
/ <https://orcid.org/0000-0003-4442-9039>

EDITOR GENERAL

Dr. Julio Cesar Torres Puentes. (**Ecuador**)/jctorres@utm.edu.ec,
jtorres11912@gmail.com / Instituto de Ciencias Básicas. Universidad Técnica de
Manabí / <https://orcid.org/0000-0002-1290-5240>

EDITORES POR SECCIÓN

BIOLOGÍA

Dr. Carlos L. Vásquez Freytez (**Ecuador**)/ca.vasquez@uta.edu.ec / Facultad de
Ciencias Agropecuarias. Universidad Técnica de Ambato (UTA)

Dra. Marynes Montiel. (**Ecuador**)/montielmarynes@gmail.com / Escuela Superior
Politécnica del Litoral (ESPOL)

FÍSICA

Dr. C. Rolando Serra Toledo. (**Cuba**)/serratoledo@gmail.com / Universidad
Tecnológica de la Habana José Antonio Echeverría (CUJAE) / <https://orcid.org/0000-0002-4008-1947>

MATEMÁTICA



Dra. Carmen Judith Vanegas Espinoza. (**Ecuador**)/cvanegas@utm.edu.ec / Instituto de Ciencias Básicas. Universidad Técnica de Manabí / <https://orcid.org/0000-0003-0748-5963>

Dr. Miguel José Vivas-Cortez. (**Ecuador**)/mjvivas@puce.edu.ec / Pontificia Universidad Católica del Ecuador (PUCE) / <https://orcid.org/0000-0002-1567-0264>

Dr. Michel Enrique Gamboa
Graus. (**Cuba**)/michelgamboagraus@gmail.com, michelgg@ult.edu.cu, michelenriqueg@yahoo.com/ Universidad de las Tunas, Las Tunas (Cuba)

Dr. Luis Sánchez. (**Ecuador**)/uccursos@gmail.com / Instituto de Ciencias Básicas. Universidad Técnica de Manabí / <https://orcid.org/0000-0002-1850-0631>

GEOCIENCIAS

Dr. Williams Mendez. (**Ecuador**)/williamsmendez@gmail.com / Universidad Técnica de Manabí

QUÍMICA

Dra. Maria del Rosario Brunetto de Galignani. (**Ecuador**)/mbrunetto@utm.edu.ec / Instituto de Ciencias Básicas. Universidad Técnica de Manabí / <https://orcid.org/0000-0003-3848-5130>



Dr. Máximo Aurelio Galignani de Bernardi. (**Ecuador**)/mgalignani@utm.edu.ec /
Instituto de Ciencias Básicas. Universidad Técnica de Manabí / <https://orcid.org/0000-0002-1662-8156>

Dr. Gilberto Colina. (**Peru**)/gjcolinaa@gmail.com / Universidad Católica de Santa
Maria (UCSM)-Arequipa.

Dra. Elvia Victoria Cabrera Maldonado. (**Ecuador**)/evcabreram@uce.edu.ec / Facultad
de Ingeniería Química. Universidad Central del Ecuador / <https://orcid.org/0000-0002-2685-4624>

Dr. Stalin Gustavo Santacruz Téran (**Ecuador**)/stalin.santacruz@gmail.com /
Universidad Layca Eloy Alfaro de Manabí (ULEAM) / <https://orcid.org/0000-0003-0801-9876>

Dr. Jesús Miguel Contreras Ramírez (**Venezuela**) /jeco@ula.ve / Universidad de los
Andes (ULA) / <https://orcid.org/0000-0002-7668-2816>

APOYO LOGÍSTICO E INFORMÁTICO

Ing. Rosalba Karen Bravo Saltos. (**Ecuador**)/rosybravo777@gmail.com / Instituto de
Ciencias Básicas. Universidad Técnica de Manabí

Ing. Carlos Rivero Torres. (**Ecuador**)/crivero@utm.edu.ec / Universidad Técnica de
Manabí

Dr. Oswaldo Larreal (**Ecuador**)/olarreal@utm.edu.ec / Universidad Técnica de Manabí



CORRECTOR DE TRADUCCIÓN DEL IDIOMA ESPAÑOL AL INGLÉS

Ing. Angel E. Hernandez B. (**Jamaica**)/aehb86@gmail.com / University Technology of
Jamaica

MSc. Ocando Pereira Yaneth Chiquinquirá. (**Ecuador**)/ychocando@gmail.com
/ Universidad de Cuenca

MSc. Lincon Oliver Echeverría Zurita (Ecuador)/lecheverria@utm.edu.ec / Universidad
Técnica de Manabí (UTM)

CORRECTOR DE TRADUCCIÓN DEL IDIOMA ESPAÑOL AL PORTUGUÉS

Dr. Marcelo De Barros
Ramalho. (**Brasil**)/marcelo.ramalho@prof.uniso.br / Universidade de Sorocaba

Dra. Gretel Eres Fernández. (**Brasil**)/igmefern@usp.br / University of São Paulo
/ <https://orcid.org/0000-0002-8027-6431>

Dra. Noroska Gabriela Salazar
Mogollón. (**Ecuador**)/noroska.salazar@ikiam.edu.ec / Universidad Regional
Amazónica. IKIAM / <https://orcid.org/0000-0002-0756-6184>

CORRECTOR DE ESTILO DEL IDIOMA ESPAÑOL

Lcdo. Vielma Orellana Yonarlli José (Ecuador) / yonarlli.vielma@utm.edu.ec /
Universidad Técnica de Manabí (UTM) / <https://orcid.org/0000-0002-3462-6859>

COMITE EDITORIAL INTERNO



Dr. Henry Antonio Pacheco Gil. (**Ecuador**)/henrypacheco@gmail.com / Facultad de Ingeniería Agrícola. Universidad Técnica de Manabí / <https://orcid.org/0000-0002-9997-9591>

Dr. Ezequiel Zamora-Ledezma. (**Ecuador**)/ezequielza24@gmail.com / Facultad de Ingeniería Agrícola. Universidad Técnica de Manabí / <https://orcid.org/0000-0002-5315-2708>

Dra. Mirna Oviedo. (**Ecuador**)/moviedo@utm.edu.ec, mirnaoviedo@gmail.com / Instituto de Ciencias Básicas. Universidad Técnica de Manabí / <https://orcid.org/0000-0003-3058-4345>

Dr. Enrique Ruiz Reyes. (**Ecuador**)/eruiz@utm.edu.ec / Instituto de Ciencias Básicas. Universidad Técnica de Manabí / <https://orcid.org/0000-0002-6980-1581>

Dr. Jean Carlos Pérez Parra. (**Ecuador**)/jcarlosp@gmail.com / Instituto de Ciencias Básicas. Universidad Técnica de Manabí

Dr. Juan Ramón Primera Ferrer. (**Ecuador**)/juan.primera2009@gmail.com / Instituto de Ciencias Básicas. Universidad Técnica de Manabí / <https://orcid.org/0000-0002-8475-7320>

Dr. Victor Ernesto Marquez Perez. (**Ecuador**)/victore.marquezp@gmail.com / Instituto de Ciencias Básicas. Universidad Técnica de Manabí

Dr. Mario Adelfo Batista Zaldívar. (**Ecuador**)/mario.batista@utm.edu.ec / Instituto de Ciencias Básicas. Universidad Técnica de Manabí / <https://orcid.org/0000-0002-1623-0332>

Dra. Lelly Maria Useche Castro. (**Ecuador**)/luseche@utm.edu.ec / Instituto de Ciencias Básicas. Universidad Técnica de Manabí

Dr. Francisco Omar Cedeño Loor. (**Ecuador**)/fcedeno@utm.edu.ec / Instituto de Ciencias Básicas. Universidad Técnica de Manabí / <http://orcid.org/0000-0001-7545-2472>



MSc. Jorge Rosendo Flores Herrera. (**Ecuador**)/flojorge@gmail.com / Instituto de Ciencias Básicas. Universidad Técnica de Manabí / <http://orcid.org/0000-0003-1056-3010>

Dr. Carlos Alberto Jadán Piedra (**Ecuador**)/cjadan@utm.edu.ec / Ingeniería Industrial. Universidad Técnica de Manabí

MSc. Felipe Rumbaut León (**Ecuador**)/felipe.rumbaut@utm.edu.ec / Instituto de Ciencias Básicas. Universidad Técnica de Manabí / <https://orcid.org/0000-0002-2510-2762>

Dr. Roberto Bauza Fermin. (**Ecuador**)/rbauza7@gmail.com, robertomapor@gmail.com / Facultad de Ciencias de la Salud. Universidad Técnica de Manabí

Dr. Ramón Eduardo Jaimez Arellano. (**Ecuador**)/rjaimezarellano@gmail.com / Facultad de Ciencias Agronómicas. Universidad Técnica de Manabí / <https://orcid.org/0000-0001-8415-0775>

COMITE EDITORIAL EXTERNO

Dr. Miguel Escalona Reyes. (**Cuba**)/miguelescalrey@gmail.com / Universidad de Holguín / <http://orcid.org/0000-0002-4120-7310>

MSc. Michael Azael Ludeña Huaman. (**Perú**)/michael.ludenah@unsaac.edu.pe / Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco / <http://orcid.org/0000-0003-0968-9273>

Candidato a PhD. David Herrera Araya. (**Chile**)/david.herrera@usach.cl / Universidad de Santiago de Chile / <http://orcid.org/0000-0002-7631-9283>



Dr. Marco Antonio Lopez SanJose (**Cuba**)/marco.lopez@uo.edu.cu / Universidad de Oriente / <http://orcid.org/0000-0002-2132-1482>

Dr. Modesto Javier Cruz Gómez (**México**)/mjcg@unam.mx / Universidad Nacional Autónoma de México / <http://orcid.org/0000-0002-6559-0844>

Dr. Iván Felipe Medina-Arboleda (**Colombia**)/ifmedina@ucatolica.edu.co / Universidad Católica de Colombia / <http://orcid.org/0000-0003-3209-9204>

Candidato a PhD. Maricel Jadith Móstiga Rodríguez. (**Perú**)/mariceljadith.mostiga@e-campus.uab.cat, mmostiga@lamolina.edu.pe / Universidad Nacional Agraria la Molina / <http://orcid.org/0000-0002-2604-463X>

Dr. Nelson M. Lopera Barrero. (**Brasil**)/nmlopera@uel.br / Universidade Estadual de Londrina / <http://orcid.org/0000-0002-7154-5134>

Dr. Juan C. Castro. (**Perú**)/juan.castro@unapiquitos.edu.pe / Universidad Nacional de la Amazonia Peruana / <http://orcid.org/0000-0003-0794-3178>

MSc. Victor Mario García Mora. (**Ecuador**)/victor.garcia@esPOCH.edu.ec / Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH) / <https://orcid.org/0000-0001-7137-8623>

Dr. José Homero Vargas López. (**Ecuador**)/jh.vargas@uta.edu.ec / Universidad Técnica de Ambato (UTA)

Dr. Eusebio Ariza García. (**Ecuador**)/eariza@yachaytech.edu.ec / Universidad de Investigación de Tecnología Experimental Yachay / <http://orcid.org/0000-0001-7754-2666>

Dr. Sedolfo Carrasquero. (**Venezuela**)/sedolfocarrasquero@gmail.com / Universidad Tecnológica Empresarial de Guayaquil / <https://orcid.org/0000-0002-4725-963X>

Dr. Johnny Bullón (**Venezuela**)/jbullontorr@gmail.com / Universidad de los Andes (ULA) / <http://orcid.org/0000-0002-6446-4030>



Dra. Corina Campos (**Ecuador**)/camposc@gmail.com / Universidad Regional
Amazónica (IKIAM)

Dr. Oswaldo José Guzmán (**Ecuador**)/oswaldojoseguzman@gmail.com / Universidad
Regional Amazónica (IKIAM) / <https://orcid.org/0000-0001-7326-1082>

Dra. Yolanda Marina Vargas Rodríguez (**México**)/ymvargas@unam.mx / Universidad
Nacional Autónoma de México (UNAM) / <http://orcid.org/0000-0002-8950-0401>

Dr. Enrique Macías Virgós (**España**)/quique.macias@usc.es / Departamento de
Matemáticas. Universidad de Santiago de Compostela / <http://orcid.org/0000-0003-1763-1610>

MSc. Romualdo S. Silva Jr. (**Brasil**)/romu.fisica@gmail.com / Departamento de
Física. Universidad Federal de Sergipe

Dr. Gustavo Javier Chacón Rosales. (**Brasil**)/gjchacon1976@gmail.com / Universidad
Federal do Río Grande do Sul. Instituto de Química.

Dr. Tony Jesus Viloría Ávila. (**Ecuador**)/tviloría63@yahoo.es, tviloría@ups.edu.ec
/ Ingeniería Ambiental. Universidad Politécnica Salesiana

Dr. Alfredo Manuel Del Castillo Serpa. (**Cuba**)/acastillo@cemat.cujae.edu.cu
/ Universidad de Camagüey (Cuba) / <http://orcid.org/0000-0001-5051-8324>

Dra. Marinela Nazareth Colina Rincón. (**Venezuela**)/colinamarinela@gmail.com
/ Facultad Experimental de Ciencias. Universidad del Zulia. Venezuela. Presidente de la
empresa Innovación Ambiental Quitosano (INNOVAQUITO C.A)

Dra. Belgica B. Bravo de Salcedo. (**Venezuela**)/marinelacolina@gmail.com / Facultad
Experimental de Ciencias. Universidad del Zulia

Dr. José Gerardo Ortega Fernández (**Venezuela**)/jgoft1970@gmail.com / Facultad
Experimental de Ciencias. Universidad del Zulia



Dr. Ullrich Stahl. (**Ecuador**)/ustahl@uce.edu.ec / Facultad de Ingeniería Química. Universidad Central del Ecuador / <https://orcid.org/0000-0001-6252-1205>

Dr. Julio Marín. (**Venezuela**)/jmarin@fing.luz.edu.ve / Facultad de Ingeniería. Universidad del Zulia / <https://orcid.org/0000-0003-2770-5978>

Dr. Ever Darío Morales Avendaño. (**Ecuador**)/evermster@gmail.com / Facultad de Ciencias Naturales. Universidad de Guayaquil / <https://orcid.org/0000-0001-9006-4996>

Dra. Noroska Gabriela Salazar Mogollón. (**Ecuador**)/noroska.salazar@ikiam.edu.ec / Universidad Regional Amazónica. IKIAM / <https://orcid.org/0000-0002-0756-6184>

Dra. Nacarid del Valle Delgado Parra. (**Chile**)/nacadel@gmail.com / Universidad Andrés Bello. Facultad de Ingeniería / <https://orcid.org/0000-0003-4485-8503>

MSc. Manuel S. Álvarez Alvarado. (**Ecuador**)/manuel.alvarez.alvarado@ieec.org, manuel.alvarez.alvarado@gmail.com / Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación (FIEC). Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)

Dr. Raúl Rodríguez Herrera. (**México**)/rrh961@hotmail.com / Facultad de Ciencias Químicas. Universidad Autónoma de Coahuila / <http://orcid.org/0000-0002-6428-4925>

Dra. María Natividad Berradre Ramos. (**Venezuela**)/marinaty@gmail.com / Laboratorio de Alimentos, Departamento de Química, Facultad Experimental de Ciencias. Universidad del Zulia

Dr. Jesús Gabalán Coello. (**Colombia**)/jgabalán@uao.edu.co / Facultad de Ingeniería. Universidad Autónoma de Occidente

Dr. Saba Rafael Infante. (**Ecuador**)/Sinfante64@gmail.com / Universidad de Investigación de Tecnología Experimental Yachay / <http://Orcid.org/0000-0001-8883-2730>

Dra. Karelen Cristina Araujo Vargas. (**Venezuela**)/karelenaraujo@gmail.com / Universidad del Zulia (LUZ)



Dra. María Tersa Varela Costa. (**Venezuela**)/mtvarela@usb.ve / Universidad Simón Bolívar (USB)

Dra. Viviana García Mir. (**Ecuador**)/vgarciamir@yahoo.es / Universidad Técnica de Machala

MSc. Kalina Fonseca Largo. (**Ecuador**)/kalina.fonseca@utc.edu.ec / Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC)

Dra. Mercy Ilbay Yupa. (**Ecuador**)/merckyu@hotmail.com / Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC)

Dra. Lauris Urribarrí. (**EEUU**)/laurisurribarri@gmail.com / Investigadora Independiente

Dra. Zoraida M. Sivoli Barrios. (**Venezuela**)/zoraidasivoli@gmail.com / Universidad de los Andes / <https://orcid.org/0000-0002-1411-8187>

Dra. Marianela Luzardo Briceño. (**Colombia**)/manelubri@gmail.com / Pontifical Bolivarian University. Faculty of Industrial Engineering / <https://orcid.org/0000-0002-8364-5378>

Dr. Franklin José Camacho. (**Ecuador**)/cfranklinj@gmail.com / Universidad de Investigación de Tecnología Experimental Yachay / <https://orcid.org/0000-0001-7802-5687>

Dr. Yonathan Parra. (**Ecuador**)/ydparra@uce.edu.ec / Facultad de Ingeniería en Geología, Minas Petróleos y Ambiental (FIGEMPA). Universidad Central del Ecuador

Dr. Luis Fernando Mejias. (**Ecuador**)/fmejias.ula@gmail.com/lfmejias@espol.edu.ec / Escuela superior Politécnica del Litoral (ESPOL) / <https://orcid.org/0000-0001-7205-2641>



Dr. Edgar Fabián Espitia Sarmiento. (**Ecuador**)/edgar.espitia@ikiam.edu.ec /
Universidad Regional Amazónica (IKIAM)

Dr. Ernesto Mora Queipo. (**Venezuela**)/emoraqueipo@gmail.com / Universidad del
Zulia (LUZ) / <https://orcid.org/0000-0003-3418-3637>.

Dr. Juan Sebastian Acero Triana. (**EEUU**)/jsa2@illinois.edu / University of Illinois
/ <https://orcid.org/0000-0003-2189-6611>

Dr. Galo B. Montenegro Córdova. (**Ecuador**)/gmontenegro@esPOCH.edu.ec / Escuela
Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH) / <https://orcid.org/0000-0002-8611-3473>

Dr. Juan Carlos Osorio López. (**Ecuador**)/osoriojuanc@gmail.com / Pontificia
Universidad Católica del Ecuador (PUCE)

Dra. Marta Beatriz Infante Abreu. (**Cuba**)/martica840527@gmail.com / Universidad
Tecnológica de la Habana José Antonio Echeverría (CUJAE)

Dr. Daniel Nuñez López. (**Colombia**)/dnunez@ugr.es / Pontificia Universidad
Javeriana. Seccional Cali (PUJ)

Dr. Víctor Alberto Granadillo Morán (**Venezuela**)/vgranadillo@gmail.com /
Universidad del Zulia (LUZ) / <https://orcid.org/0000-0002-0188-3170>

Dr. Carlos Daniel Ayala Montilla (**Venezuela**)/carlosdaniel55@gmail.com /
Universidad de los Andes (ULA) / <https://orcid.org/0000-0002-7264-5208>

Dr. Víctor Cerdà Martín (**España**)/victorcerdamartin@gmail.com / Universitat de les
Illes Balears / <https://orcid.org/0000-0001-7474-9426>



Dr. Alexis José Zambrano García (**Venezuela**)/alexiszve@gmail.com / Universidad de los Andes (ULA)

Dr. Argenis Montilla Pacheco (**Ecuador**)/argenismontillap@gmail.com / Universidad Layca Eloy Alfaro de Manabí (ULEAM) / <http://orcid.org/0000-0001-9739-4971>

Dra. Brightdoom Márquez de García (**Venezuela**)/bmarquez2001@gmail.com / Universidad de Oriente (UDO) / <http://orcid.org/0000-0002-2703-8696>

Dr. López González Wilmer Orlando (**Venezuela**)/lgwilmer@yahoo.com / Universidad de los Andes (ULA)

Dra. Zenaida Castillo (**Ecuador**)/zcastillo@yachaytech.edu.ec / Universidad de Investigación de Tecnología Experimental Yachay

Dr. Ernesto Antonio Ponsot Balaguer (**Ecuador**)/ernesto.pb@gmail.com / Topos:Data Science Consulting / <https://orcid.org/0000-0001-5221-1799>

Dr. Isidro Rafael Amaro M. (**Ecuador**)/iamaro@yachaytech.edu.ec / Universidad de Investigación de Tecnología Experimental Yachay

Dr. Ebner Alexander Pineda Mogollón (**Ecuador**)/ebner.pineda@gmail.com / Escuela Politecnica del Litoral (ESPOL)

MSc. Francisco Javier Quiroz Chávez (**Ecuador**)/francisco.quiroz@epn.edu.ec / Escuela Politecnica Nacional (EPN)

MSc. Diego German Piccardo Silva (**Uruguay**)/dpiccardo@fagro.edu.uy / Universidad de la República. Facultad de Agronomía / <http://orcid.org/0000-0002-1911-0686>

Dr. Alexander López (**Ecuador**)/tula1971@gmail.com / Escuela Politécnica del Litoral (ESPOL)



Dra. Esther Desireé Gutiérrez Moreno (**Venezuela**)/sterguti@gmail.com / Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC)

Dr. David Lanza escobedo (**España**)/david.lanza@udima.es / Universidad a Distancia de Madrid (UDIMA) / <https://orcid.org/0000-0002-5149-1837>

Dr. Rubén E. Cadenas Martínez (**Ecuador**)/ruben.cadenas@unesum.edu.ec / Universidad Estatal del Sur de Manabí (UNESUM)

Dr. Ruly Teran Hilares (**Perú**)/rteran@ucsm.edu.ec / Universidad Católica de Santa María (UCSM)

Dr. Luis Orlando Castellanos Pérez (**Cuba**)/locp@uho.edu.cu / Universidad de Holguín (Cuba)

Dr. Rafael Mauro Ávila-Ávila (**Cuba**)/ravilaa62@gmail.com / Universidad de Holguín (Cuba) / <https://orcid.org/0000-0002-9449-0236>

Dr. Jhonny Saulo Alberto Villafuerte
Holguin (**Ecuador**)/jhonny.villafuerte@gmail.com / Universidad Layca eloy Alfaro de Manabí (ULEAM)

MSc. Gustavo Hincapié Jaramillo (**Colombia**)/gustavo.hincapie@ucaldas.edu.co / Universidad de Caldas / <https://orcid.org/0000-0002-5520-5193>.

MSc. Richard Pérez Roa (**Venezuela**)/rperez1984@gmail.com / Universidad Central de Venezuela (UCV) / <https://orcid.org/0000-0002-1049-6834>

Asesor de Gestión e Imagen

Dr. Ulises Mestre. (**Cuba**)/umestre@utm.edu.ec / Universidad de las Tunas, Las Tunas (Cuba)



Los Miembros del comité editorial interno y externo actúan como pares revisores de los trabajos por el sistema doble ciego.

Revista del Instituto de Ciencias Básicas

e-ISSN: 2588-0764

E-Mail: revista.bdlaciencia@utm.edu.ec/revistabasesdelaciencia@utm.edu.ec

Dirección: Av. Urbina y Che Guevara

Apartado postal: 82

Teléfonos: (593-5) 2651613

Portoviejo - Manabí - Ecuador



CONSEJO EDITORIAL

DIRECTORA

Dra. Yulixis Nohemi Cano de Torres. (**Ecuador**)/ycano@utm.edu.ec,
yulixiscano@gmail.com / Instituto de Ciencias Básicas. Universidad Técnica de Manabí
/ <https://orcid.org/0000-0003-4442-9039>

EDITOR GENERAL

Dr. Julio Cesar Torres Puentes. (**Ecuador**)/jctorres@utm.edu.ec,
jtorres11912@gmail.com / Instituto de Ciencias Básicas. Universidad Técnica de
Manabí / <https://orcid.org/0000-0002-1290-5240>

EDITORES POR SECCIÓN

BIOLOGÍA

Dr. Carlos L. Vásquez Freytez (**Ecuador**)/ca.vasquez@uta.edu.ec / Facultad de
Ciencias Agropecuarias. Universidad Técnica de Ambato (UTA)

Dra. Marynes Montiel. (**Ecuador**)/montielmarynes@gmail.com / Escuela Superior
Politécnica del Litoral (ESPOL)

FÍSICA

Dr. C. Rolando Serra Toledo. (**Cuba**)/serratoledo@gmail.com / Universidad
Tecnológica de la Habana José Antonio Echeverría (CUJAE) / <https://orcid.org/0000-0002-4008-1947>

MATEMÁTICA



Dra. Carmen Judith Vanegas Espinoza. (**Ecuador**)/cvanegas@utm.edu.ec / Instituto de Ciencias Básicas. Universidad Técnica de Manabí / <https://orcid.org/0000-0003-0748-5963>

Dr. Miguel José Vivas-Cortez. (**Ecuador**)/mjvivas@puce.edu.ec / Pontificia Universidad Católica del Ecuador (PUCE) / <https://orcid.org/0000-0002-1567-0264>

Dr. Michel Enrique Gamboa
Graus. (**Cuba**)/michelgamboagraus@gmail.com, michelgg@ult.edu.cu, michelenriqueg@yahoo.com/ Universidad de las Tunas, Las Tunas (Cuba)

Dr. Luis Sánchez. (**Ecuador**)/uccursos@gmail.com / Instituto de Ciencias Básicas. Universidad Técnica de Manabí / <https://orcid.org/0000-0002-1850-0631>

GEOCIENCIAS

Dr. Williams Mendez. (**Ecuador**)/williamsmendez@gmail.com / Universidad Técnica de Manabí

QUÍMICA

Dra. Maria del Rosario Brunetto de Galignani. (**Ecuador**)/mbrunetto@utm.edu.ec / Instituto de Ciencias Básicas. Universidad Técnica de Manabí / <https://orcid.org/0000-0003-3848-5130>



Dr. Máximo Aurelio Gallignani de Bernardi. (**Ecuador**)/mgallignani@utm.edu.ec /
Instituto de Ciencias Básicas. Universidad Técnica de Manabí / <https://orcid.org/0000-0002-1662-8156>

Dr. Gilberto Colina. (**Peru**)/gjcolinaa@gmail.com / Universidad Católica de Santa
Maria (UCSM)-Arequipa.

Dra. Elvia Victoria Cabrera Maldonado. (**Ecuador**)/evcabreram@uce.edu.ec / Facultad
de Ingeniería Química. Universidad Central del Ecuador / <https://orcid.org/0000-0002-2685-4624>

Dr. Stalin Gustavo Santacruz Téran (**Ecuador**)/stalin.santacruz@gmail.com /
Universidad Layca Eloy Alfaro de Manabí (ULEAM) / <https://orcid.org/0000-0003-0801-9876>

Dr. Jesús Miguel Contreras Ramírez (**Venezuela**) /jeco@ula.ve / Universidad de los
Andes (ULA) / <https://orcid.org/0000-0002-7668-2816>

APOYO LOGÍSTICO E INFORMÁTICO

Ing. Rosalba Karen Bravo Saltos. (**Ecuador**)/rosybravo777@gmail.com / Instituto de
Ciencias Básicas. Universidad Técnica de Manabí

Ing. Carlos Rivero Torres. (**Ecuador**)/crivero@utm.edu.ec / Universidad Técnica de
Manabí

Dr. Oswaldo Larreal (**Ecuador**)/olarreal@utm.edu.ec / Universidad Técnica de Manabí



CORRECTOR DE TRADUCCIÓN DEL IDIOMA ESPAÑOL AL INGLÉS

Ing. Angel E. Hernandez B. (**Jamaica**)/aehb86@gmail.com / University Technology of
Jamaica

MSc. Ocando Pereira Yaneth Chiquinquirá. (**Ecuador**)/ychocando@gmail.com
/ Universidad de Cuenca

MSc. Lincon Oliver Echeverría Zurita (Ecuador)/lecheverria@utm.edu.ec / Universidad
Técnica de Manabí (UTM)

CORRECTOR DE TRADUCCIÓN DEL IDIOMA ESPAÑOL AL PORTUGUÉS

Dr. Marcelo De Barros
Ramalho. (**Brasil**)/marcelo.ramalho@prof.uniso.br / Universidade de Sorocaba

Dra. Gretel Eres Fernández. (**Brasil**)/igmefern@usp.br / University of São Paulo
/ <https://orcid.org/0000-0002-8027-6431>

Dra. Noroska Gabriela Salazar
Mogollón. (**Ecuador**)/noroska.salazar@ikiam.edu.ec / Universidad Regional
Amazónica. IKIAM / <https://orcid.org/0000-0002-0756-6184>

CORRECTOR DE ESTILO DEL IDIOMA ESPAÑOL

Lcdo. Vielma Orellana Yonarlli José (Ecuador) / yonarlli.vielma@utm.edu.ec /
Universidad Técnica de Manabí (UTM) / <https://orcid.org/0000-0002-3462-6859>

COMITE EDITORIAL INTERNO



Dr. Henry Antonio Pacheco Gil. (**Ecuador**)/henrypacheco@gmail.com / Facultad de Ingeniería Agrícola. Universidad Técnica de Manabí / <https://orcid.org/0000-0002-9997-9591>

Dr. Ezequiel Zamora-Ledezma. (**Ecuador**)/ezequielza24@gmail.com / Facultad de Ingeniería Agrícola. Universidad Técnica de Manabí / <https://orcid.org/0000-0002-5315-2708>

Dra. Mirna Oviedo. (**Ecuador**)/moviedo@utm.edu.ec, mirnaoviedo@gmail.com / Instituto de Ciencias Básicas. Universidad Técnica de Manabí / <https://orcid.org/0000-0003-3058-4345>

Dr. Enrique Ruiz Reyes. (**Ecuador**)/eruiz@utm.edu.ec / Instituto de Ciencias Básicas. Universidad Técnica de Manabí / <https://orcid.org/0000-0002-6980-1581>

Dr. Jean Carlos Pérez Parra. (**Ecuador**)/jcarlosp@gmail.com / Instituto de Ciencias Básicas. Universidad Técnica de Manabí

Dr. Juan Ramón Primera Ferrer. (**Ecuador**)/juan.primera2009@gmail.com / Instituto de Ciencias Básicas. Universidad Técnica de Manabí / <https://orcid.org/0000-0002-8475-7320>

Dr. Victor Ernesto Marquez Perez. (**Ecuador**)/victore.marquezp@gmail.com / Instituto de Ciencias Básicas. Universidad Técnica de Manabí

Dr. Mario Adelfo Batista Zaldívar. (**Ecuador**)/mario.batista@utm.edu.ec / Instituto de Ciencias Básicas. Universidad Técnica de Manabí / <https://orcid.org/0000-0002-1623-0332>

Dra. Lelly Maria Useche Castro. (**Ecuador**)/luseche@utm.edu.ec / Instituto de Ciencias Básicas. Universidad Técnica de Manabí

Dr. Francisco Omar Cedeño Loor. (**Ecuador**)/fcedeno@utm.edu.ec / Instituto de Ciencias Básicas. Universidad Técnica de Manabí / <http://orcid.org/0000-0001-7545-2472>



MSc. Jorge Rosendo Flores Herrera. (**Ecuador**)/flojorge@gmail.com / Instituto de Ciencias Básicas. Universidad Técnica de Manabí / <http://orcid.org/0000-0003-1056-3010>

Dr. Carlos Alberto Jadán Piedra (**Ecuador**)/cjadan@utm.edu.ec / Ingeniería Industrial. Universidad Técnica de Manabí

MSc. Felipe Rumbaut León (**Ecuador**)/felipe.rumbaut@utm.edu.ec / Instituto de Ciencias Básicas. Universidad Técnica de Manabí / <https://orcid.org/0000-0002-2510-2762>

Dr. Roberto Bauza Fermin. (**Ecuador**)/rbauza7@gmail.com, robertomapor@gmail.com / Facultad de Ciencias de la Salud. Universidad Técnica de Manabí

Dr. Ramón Eduardo Jaimez Arellano. (**Ecuador**)/rjaimezarellano@gmail.com / Facultad de Ciencias Agronómicas. Universidad Técnica de Manabí / <https://orcid.org/0000-0001-8415-0775>

COMITE EDITORIAL EXTERNO

Dr. Miguel Escalona Reyes. (**Cuba**)/miguelescalrey@gmail.com / Universidad de Holguín / <http://orcid.org/0000-0002-4120-7310>

MSc. Michael Azael Ludeña Huaman. (**Perú**)/michael.ludenah@unsaac.edu.pe / Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco / <http://orcid.org/0000-0003-0968-9273>

Candidato a PhD. David Herrera Araya. (**Chile**)/david.herrera@usach.cl / Universidad de Santiago de Chile / <http://orcid.org/0000-0002-7631-9283>



Dr. Marco Antonio Lopez SanJose (**Cuba**)/marco.lopez@uo.edu.cu / Universidad de Oriente / <http://orcid.org/0000-0002-2132-1482>

Dr. Modesto Javier Cruz Gómez (**México**)/mjcg@unam.mx / Universidad Nacional Autónoma de México / <http://orcid.org/0000-0002-6559-0844>

Dr. Iván Felipe Medina-Arboleda (**Colombia**)/ifmedina@ucatolica.edu.co / Universidad Católica de Colombia / <http://orcid.org/0000-0003-3209-9204>

Candidato a PhD. Maricel Jadith Móstiga Rodríguez. (**Perú**)/mariceljadith.mostiga@e-campus.uab.cat, mmostiga@lamolina.edu.pe / Universidad Nacional Agraria la Molina / <http://orcid.org/0000-0002-2604-463X>

Dr. Nelson M. Lopera Barrero. (**Brasil**)/nmlopera@uel.br / Universidade Estadual de Londrina / <http://orcid.org/0000-0002-7154-5134>

Dr. Juan C. Castro. (**Perú**)/juan.castro@unapiquitos.edu.pe / Universidad Nacional de la Amazonia Peruana / <http://orcid.org/0000-0003-0794-3178>

MSc. Victor Mario García Mora. (**Ecuador**)/victor.garcia@esPOCH.edu.ec / Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH) / <https://orcid.org/0000-0001-7137-8623>

Dr. José Homero Vargas López. (**Ecuador**)/jh.vargas@uta.edu.ec / Universidad Técnica de Ambato (UTA)

Dr. Eusebio Ariza garcía. (**Ecuador**)/eariza@yachaytech.edu.ec / Universidad de Investigación de Tecnología Experimental Yachay / <http://orcid.org/0000-0001-7754-2666>

Dr. Sedolfo Carrasquero. (**Venezuela**)/sedolfocarrasquero@gmail.com / Universidad Tecnológica Empresarial de Guayaquil / <https://orcid.org/0000-0002-4725-963X>

Dr. Johnny Bullón (**Venezuela**)/jbullontorr@gmail.com / Universidad de los Andes (ULA) / <http://orcid.org/0000-0002-6446-4030>



Dra. Corina Campos (**Ecuador**)/camposc@gmail.com / Universidad Regional
Amazónica (IKIAM)

Dr. Oswaldo José Guzmán (**Ecuador**)/oswaldojoseguzman@gmail.com / Universidad
Regional Amazónica (IKIAM) / <https://orcid.org/0000-0001-7326-1082>

Dra. Yolanda Marina Vargas Rodríguez (**México**)/ymvargas@unam.mx / Universidad
Nacional Autónoma de México (UNAM) / <http://orcid.org/0000-0002-8950-0401>

Dr. Enrique Macías Virgós (**España**)/quique.macias@usc.es / Departamento de
Matemáticas. Universidad de Santiago de Compostela / <http://orcid.org/0000-0003-1763-1610>

MSc. Romualdo S. Silva Jr. (**Brasil**)/romu.fisica@gmail.com / Departamento de
Física. Universidad Federal de Sergipe

Dr. Gustavo Javier Chacón Rosales. (**Brasil**)/gjchacon1976@gmail.com / Universidad
Federal do Río Grande do Sul. Instituto de Química.

Dr. Tony Jesus Viloría Ávila. (**Ecuador**)/tviloría63@yahoo.es, tviloría@ups.edu.ec
/ Ingeniería Ambiental. Universidad Politécnica Salesiana

Dr. Alfredo Manuel Del Castillo Serpa. (**Cuba**)/acastillo@cemat.cujae.edu.cu
/ Universidad de Camagüey (Cuba) / <http://orcid.org/0000-0001-5051-8324>

Dra. Marinela Nazareth Colina Rincón. (**Venezuela**)/colinamarinela@gmail.com
/ Facultad Experimental de Ciencias. Universidad del Zulia. Venezuela. Presidente de la
empresa Innovación Ambiental Quitosano (INNOVAQUITO C.A)

Dra. Belgica B. Bravo de Salcedo. (**Venezuela**)/marinelacolina@gmail.com / Facultad
Experimental de Ciencias. Universidad del Zulia

Dr. José Gerardo Ortega Fernández (**Venezuela**)/jgoft1970@gmail.com / Facultad
Experimental de Ciencias. Universidad del Zulia



Dr. Ullrich Stahl. (**Ecuador**)/ustahl@uce.edu.ec / Facultad de Ingeniería Química. Universidad Central del Ecuador / <https://orcid.org/0000-0001-6252-1205>

Dr. Julio Marín. (**Venezuela**)/jmarin@fing.luz.edu.ve / Facultad de Ingeniería. Universidad del Zulia / <https://orcid.org/0000-0003-2770-5978>

Dr. Ever Darío Morales Avendaño. (**Ecuador**)/evermster@gmail.com / Facultad de Ciencias Naturales. Universidad de Guayaquil / <https://orcid.org/0000-0001-9006-4996>

Dra. Noroska Gabriela Salazar Mogollón. (**Ecuador**)/noroska.salazar@ikiam.edu.ec / Universidad Regional Amazónica. IKIAM / <https://orcid.org/0000-0002-0756-6184>

Dra. Nacarid del Valle Delgado Parra. (**Chile**)/nacadel@gmail.com / Universidad Andrés Bello. Facultad de Ingeniería / <https://orcid.org/0000-0003-4485-8503>

MSc. Manuel S. Álvarez Alvarado. (**Ecuador**)/manuel.alvarez.alvarado@ieec.org, manuel.alvarez.alvarado@gmail.com / Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación (FIEC). Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)

Dr. Raúl Rodríguez Herrera. (**México**)/rrh961@hotmail.com / Facultad de Ciencias Químicas. Universidad Autónoma de Coahuila / <http://orcid.org/0000-0002-6428-4925>

Dra. María Natividad Berradre Ramos. (**Venezuela**)/marinaty@gmail.com / Laboratorio de Alimentos, Departamento de Química, Facultad Experimental de Ciencias. Universidad del Zulia

Dr. Jesús Gabalán Coello. (**Colombia**)/jgabalan@uao.edu.co / Facultad de Ingeniería. Universidad Autónoma de Occidente

Dr. Saba Rafael Infante. (**Ecuador**)/Sinfante64@gmail.com / Universidad de Investigación de Tecnología Experimental Yachay / <http://Orcid.org/0000-0001-8883-2730>

Dra. Karelen Cristina Araujo Vargas. (**Venezuela**)/karelenaraujo@gmail.com / Universidad del Zulia (LUZ)



Dra. María Tersa Varela Costa. (**Venezuela**)/mtvarela@usb.ve / Universidad Simón Bolívar (USB)

Dra. Viviana García Mir. (**Ecuador**)/vgarciamir@yahoo.es / Universidad Técnica de Machala

MSc. Kalina Fonseca Largo. (**Ecuador**)/kalina.fonseca@utc.edu.ec / Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC)

Dra. Mercy Ilbay Yupa. (**Ecuador**)/merckyu@hotmail.com / Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC)

Dra. Lauris Urribarrí. (**EEUU**)/laurisurribarri@gmail.com / Investigadora Independiente

Dra. Zoraida M. Sivoli Barrios. (**Venezuela**)/zoraidasivoli@gmail.com / Universidad de los Andes / <https://orcid.org/0000-0002-1411-8187>

Dra. Marianela Luzardo Briceño. (**Colombia**)/manelubri@gmail.com / Pontifical Bolivarian University. Faculty of Industrial Engineering / <https://orcid.org/0000-0002-8364-5378>

Dr. Franklin José Camacho. (**Ecuador**)/cfranklinj@gmail.com / Universidad de Investigación de Tecnología Experimental Yachay / <https://orcid.org/0000-0001-7802-5687>

Dr. Yonathan Parra. (**Ecuador**)/ydparra@uce.edu.ec / Facultad de Ingeniería en Geología, Minas Petróleos y Ambiental (FIGEMPA). Universidad Central del Ecuador

Dr. Luis Fernando Mejias. (**Ecuador**)/fmejias.ula@gmail.com/lfmejias@espol.edu.ec / Escuela superior Politécnica del Litoral (ESPOL) / <https://orcid.org/0000-0001-7205-2641>



Dr. Edgar Fabián Espitia Sarmiento. (**Ecuador**)/edgar.espitia@ikiam.edu.ec /
Universidad Regional Amazónica (IKIAM)

Dr. Ernesto Mora Queipo. (**Venezuela**)/emoraqueipo@gmail.com / Universidad del
Zulia (LUZ) / <https://orcid.org/0000-0003-3418-3637>.

Dr. Juan Sebastian Acero Triana. (**EEUU**)/jsa2@illinois.edu / University of Illinois
/ <https://orcid.org/0000-0003-2189-6611>

Dr. Galo B. Montenegro Córdova. (**Ecuador**)/gmontenegro@esPOCH.edu.ec / Escuela
Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH) / <https://orcid.org/0000-0002-8611-3473>

Dr. Juan Carlos Osorio López. (**Ecuador**)/osoriojuanc@gmail.com / Pontificia
Universidad Católica del Ecuador (PUCE)

Dra. Marta Beatriz Infante Abreu. (**Cuba**)/martica840527@gmail.com / Universidad
Tecnológica de la Habana José Antonio Echeverría (CUJAE)

Dr. Daniel Nuñez López. (**Colombia**)/dnunez@ugr.es / Pontificia Universidad
Javeriana. Seccional Cali (PUJ)

Dr. Víctor Alberto Granadillo Morán (**Venezuela**)/vgranadillo@gmail.com /
Universidad del Zulia (LUZ) / <https://orcid.org/0000-0002-0188-3170>

Dr. Carlos Daniel Ayala Montilla (**Venezuela**)/carlosdaniel55@gmail.com /
Universidad de los Andes (ULA) / <https://orcid.org/0000-0002-7264-5208>

Dr. Víctor Cerdà Martín (**España**)/victorcerdamartin@gmail.com / Universitat de les
Illes Balears / <https://orcid.org/0000-0001-7474-9426>



Dr. Alexis José Zambrano García (**Venezuela**)/alexiszve@gmail.com / Universidad de los Andes (ULA)

Dr. Argenis Montilla Pacheco (**Ecuador**)/argenismontillap@gmail.com / Universidad Layca Eloy Alfaro de Manabí (ULEAM) / <http://orcid.org/0000-0001-9739-4971>

Dra. Brightdoom Márquez de García (**Venezuela**)/bmarquez2001@gmail.com / Universidad de Oriente (UDO) / <http://orcid.org/0000-0002-2703-8696>

Dr. López González Wilmer Orlando (**Venezuela**)/lgwilmer@yahoo.com / Universidad de los Andes (ULA)

Dra. Zenaida Castillo (**Ecuador**)/zcastillo@yachaytech.edu.ec / Universidad de Investigación de Tecnología Experimental Yachay

Dr. Ernesto Antonio Ponsot Balaguer (**Ecuador**)/ernesto.pb@gmail.com / Topos:Data Science Consulting / <https://orcid.org/0000-0001-5221-1799>

Dr. Isidro Rafael Amaro M. (**Ecuador**)/iamaro@yachaytech.edu.ec / Universidad de Investigación de Tecnología Experimental Yachay

Dr. Ebner Alexander Pineda Mogollón (**Ecuador**)/ebner.pineda@gmail.com / Escuela Politecnica del Litoral (ESPOL)

MSc. Francisco Javier Quiroz Chávez (**Ecuador**)/francisco.quiroz@epn.edu.ec / Escuela Politecnica Nacional (EPN)

MSc. Diego German Piccardo Silva (**Uruguay**)/dpiccardo@fagro.edu.uy / Universidad de la República. Facultad de Agronomía / <http://orcid.org/0000-0002-1911-0686>

Dr. Alexander López (**Ecuador**)/tula1971@gmail.com / Escuela Politécnica del Litoral (ESPOL)



Dra. Esther Desireé Gutiérrez Moreno (**Venezuela**)/sterguti@gmail.com / Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC)

Dr. David Lanza escobedo (**España**)/david.lanza@udima.es / Universidad a Distancia de Madrid (UDIMA) / <https://orcid.org/0000-0002-5149-1837>

Dr. Rubén E. Cadenas Martínez (**Ecuador**)/ruben.cadenas@unesum.edu.ec / Universidad Estatal del Sur de Manabí (UNESUM)

Dr. Ruly Teran Hilares (**Perú**)/rteran@ucsm.edu.ec / Universidad Católica de Santa María (UCSM)

Dr. Luis Orlando Castellanos Pérez (**Cuba**)/locp@uho.edu.cu / Universidad de Holguín (Cuba)

Dr. Rafael Mauro Ávila-Ávila (**Cuba**)/ravilaa62@gmail.com / Universidad de Holguín (Cuba) / <https://orcid.org/0000-0002-9449-0236>

Dr. Jhonny Saulo Alberto Villafuerte
Holguin (**Ecuador**)/jhonny.villafuerte@gmail.com / Universidad Layca eloy Alfaro de Manabí (ULEAM)

MSc. Gustavo Hincapié Jaramillo (**Colombia**)/gustavo.hincapie@ucaldas.edu.co / Universidad de Caldas / <https://orcid.org/0000-0002-5520-5193>.

MSc. Richard Pérez Roa (**Venezuela**)/rperez1984@gmail.com / Universidad Central de Venezuela (UCV) / <https://orcid.org/0000-0002-1049-6834>

Asesor de Gestión e Imagen

Dr. Ulises Mestre. (**Cuba**)/umestre@utm.edu.ec / Universidad de las Tunas, Las Tunas (Cuba)



Los Miembros del comité editorial interno y externo actúan como pares revisores de los trabajos por el sistema doble ciego.

Revista del Instituto de Ciencias Básicas

e-ISSN: 2588-0764

E-Mail: revista.bdlaciencia@utm.edu.ec/revistabasesdelaciencia@utm.edu.ec

Dirección: Av. Urbina y Che Guevara

Apartado postal: 82

Teléfonos: (593-5) 2651613

Portoviejo - Manabí - Ecuador