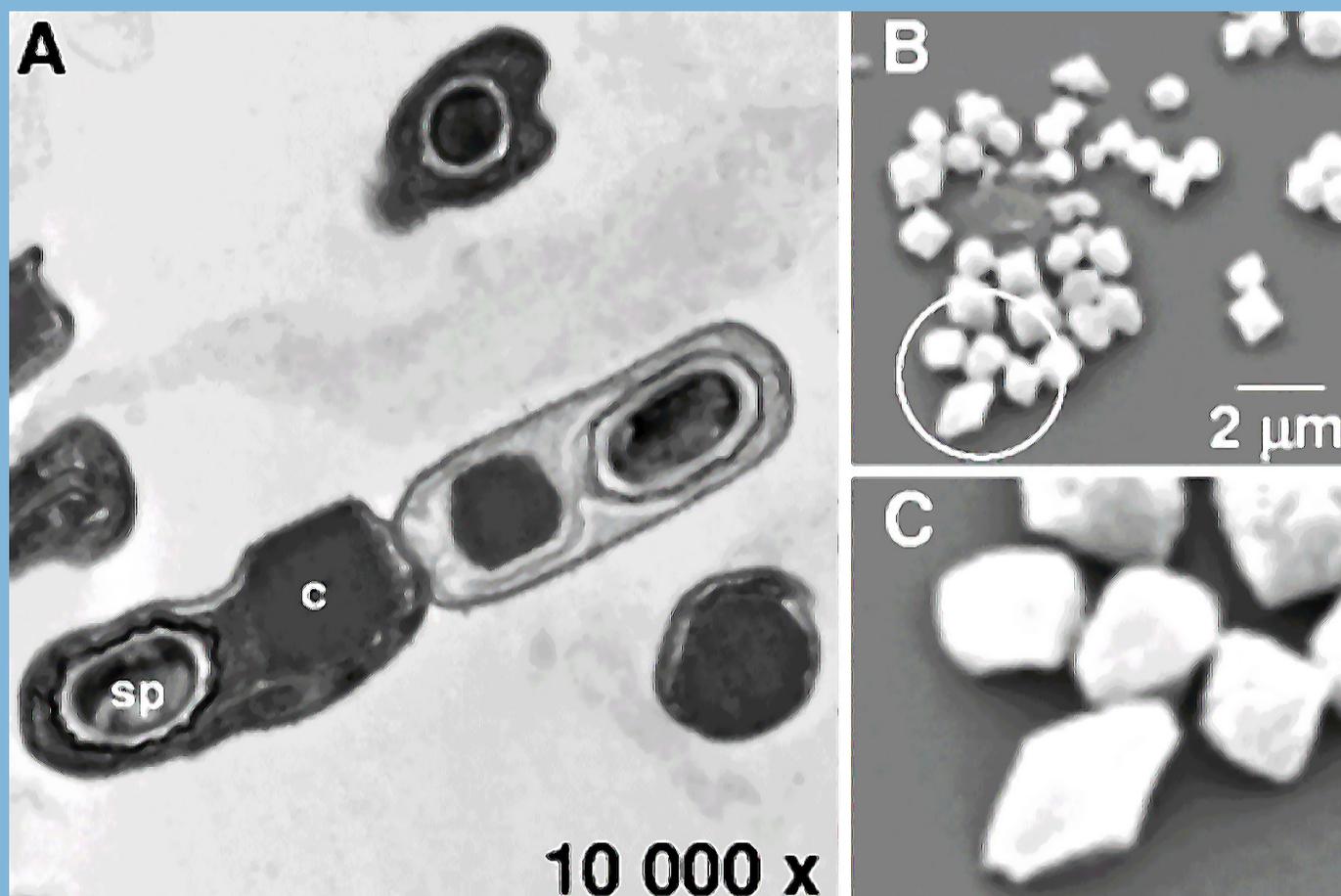


# MUTIS

REVISTA ELECTRÓNICA EDITADA POR LA FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES E INGENIERÍA



MUTIS, Journal of the Faculty of Sciences and Engineering, Jorge Tadeo Lozano University, is licensed under the Creative Commons 4.0: Attribution - Noncommercial - No Derivative Works

EDITORIAL  
**UTADEO**

# MUTIS

Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano  
Dirección de Publicaciones  
Carrera 4 n.º 23-76, Módulo 29, of. 203  
Piso 2, Bogotá, D. C., Colombia  
Tel: (571) 242 7030, Exts. 3120-3132

ISSN: 2256-1498

DOI: <https://doi.org/10.21789/issn.2256-1498>

[revista.mutis@utadeo.edu.co](mailto:revista.mutis@utadeo.edu.co)

Rectora

CECILIA MARÍA VÉLEZ WHITE

Vicerrectora Académica

MARGARITA MARÍA PEÑA BORRERO

Vicerrectora Administrativa

NOHEMY ARIAS OTERO

Director de Investigación, Creación y Extensión

LEONARDO PINEDA SERNA

Decano de la Facultad de Ciencias Naturales  
e Ingeniería

ISAAC DYNER REZONZEW

Jefe de Publicaciones

DANIEL MAURICIO BLANCO BETANCOURT

Coordinador Editorial

JUAN CARLOS GARCÍA SAENZ

Director de Arte y Diseño

LUIS CARLOS CELIS CALDERÓN

Corrector de estilo

Édgar Ordóñez (Español) / Marco Giraldo (Inglés)

Diagramación

MARY LIDIA MOLINA BERNAL

Mutis es una publicación electrónica semestral de ciencia e investigación editada por la Facultad de Ciencias Naturales e Ingeniería de la Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Los artículos publicados son responsabilidad de sus autores y no comprometen la posición editorial de Mutis.

Editores

JAVIER HERNÁNDEZ FERNÁNDEZ

Ciencias Naturales

CÉSAR DÍAZ

Ingeniería

Comité Editorial

ISAAC DYNER REZONZEW

Universidad Jorge Tadeo Lozano

MICHAEL J. AHRENS

Universidad Jorge Tadeo Lozano

LEONARDO MARIÑO RAMÍREZ

NCBI - National Center for Biotechnology Information,  
Bethesda MD, EE. UU.

MYRON SPECTOR

Harvard University, EE. UU.

Comité Científico

MÓNICA PUYANA HEGEDUS

Universidad Jorge Tadeo Lozano

ANDRÉS FELIPE SUÁREZ ESCOBAR

Universidad Jorge Tadeo Lozano

ALBA GRACIELA ÁVILA

Universidad de los Andes

ANDRÉS FELIPE LÓPEZ

Universidad de La Sabana

SILVIO ALEJANDRO LÓPEZ PASOS

Colegio Mayor de Cundinamarca

Actualmente el contenido está indexado e incluido en EBSCO, Latindex, DOAJ, CENGAGE learning, Base, Google Scholar, REDIB



MUTIS, Journal of the Faculty of Sciences and Engineering, Jorge Tadeo Lozano University, is licensed under the Creative Commons 4.0: Attribution - Noncommercial - No derivative works

# CONTENIDO

Vol. 7 n.º 2, julio-diciembre 2017

## Editorial

Javier Hernández-Fernández

5

---

## ARTÍCULOS DE INVESTIGACIÓN – RESEARCH ARTICLES

---

### **Brasicáceas y perspectivas de control biológico del insecto plaga *Plutella xylostella* (Lepidóptera: *Plutellidae*) con *Bacillus thuringiensis***

Brassicaceae and perspectives of biological control of the plague insect *Plutella xylostella* (Lepidoptera: *Plutellidae*) with *Bacillus thuringiensis*

Julieth Mena-Guerrero, Javier Hernández-Fernández

7

---

### **Síntesis *in situ* de nanopartículas de peróxido de zinc sobre fibras de plátano con potencial en la industria textil**

Synthesis *in situ* of nanoparticles of zinc peroxide on banana fibers with potential in the textile industry

María Estefanía Ballesteros García, John Ricardo Jr. Durán Romero, Juliana Gutiérrez Corrales, Alis Pataquiva-Mateus

23

---

### **Obtención de catalizadores ácidos a partir de la cascarilla de arroz**

Acid catalysts from rice husk ash

Jeisson Javier Loaiza Malaver, Ana María Campos Rosario

33

---

### **Inventario de gases efecto invernadero en la universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano**

Inventory of greenhouse gases at the University of Bogotá Jorge Tadeo Lozano

Daniela Manso Piñeros, Carmen Parrado Moreno Andrés Julián Aristizábal

44

---

### **La apropiación social del conocimiento, un impulsor de la innovación: caso Asociación Horfrubella, Pereira (Risaralda)**

The social appropriation of knowledge a driver of innovation: case Association Horfrubella, Pereira (Risaralda)

Carolina Díaz González

59

---

### **Post-embryonic development stages of *Tityus columbianus* (Thorell, 1846), (Scorpiones, Buthidae): morphometrics stimation approach**

Etapas de desarrollo posembriionario de *Tityus columbianus* (Thorell, 1846), (Scorpiones, Buthidae): enfoque de la estimación morfométrica

Matías Gómez, C., Eduardo Flórez, Linda Hernández, Gonzalo E. Fajardo Medina

75

---

## ARTÍCULO TÉCNICO – TECHNICAL REPORT

---

### **Cultivo de las microalgas *Isochrysis galbana* y *Nannochloropsis* sp. para alimentación de larvas de peces marinos**

Cultivation of the microalgae *Isochrysis galbana* and *Nannochloropsis* sp. for feeding marine fish larvae

María Fernanda Pereira Gutiérrez, Guiomar Aminta, Jáuregui Romero, Adrián Devia

81

---

### **Diseño y prototipo de un precipitador electrostático**

Juan Felipe Rodríguez, Uriel Faruk Alarcón Pinto, Olmer García Bedoya, Germán Benavides

86

---

### **Instrucciones para autores**

96

---



### **La anoxia como estrategia para la supervivencia: un caso especial en tortugas terrestres y una pregunta en tortugas marinas**

Hace por lo menos dos billones de años que las formas primitivas de vida incorporaron el uso del oxígeno como aceptor final de electrones en la cadena respiratoria. El fenómeno de óxido-reducción permitió pasar de producir 2 ATP a partir de una mol de glucosa a entregarles a las células 36 ATP, proceso que cambió para siempre la habilidad para obtener la energía en la mayoría de los organismos vivos. Hoy en día, los órganos de la mayoría de mamíferos son altamente sensibles a las limitaciones de oxígeno; sin embargo, algunos vertebrados ectotérmicos están extraordinariamente adaptados a la tolerancia a este estrés. Tortugas de agua de los géneros *Trachemys* y *Chrysemys* utilizan la anaerobiosis como estrategia para vivir varios meses en condiciones de anoxia durante el invierno (Ultsch, 1989). Estas tortugas han sido juiciosamente estudiadas por la adaptación que les permite a sus órganos sobrevivir sin oxígeno (Krivoruchko y Storey, 2010). Sin embargo, los mecanismos moleculares relacionados con tolerancia a la anoxia en tortugas marinas no han sido caracterizados. Las tortugas dulceacuícolas *Trachemys* y *Chrysemys* han sido mundialmente utilizadas como modelos para identificar y entender los mecanismos moleculares de tolerancia a la anoxia y las bases moleculares de las lesiones producidas por la hipoxia/isquemia que ocurren en organismos sensibles al oxígeno, así como los problemas médicos, como el ataque cardíaco y accidente cerebrovascular, y la posible forma de evitarlos, así como enfermedades producidas por el estrés oxidativo, tales como parkinson o alzheimer (Buck, 2004). Además, podría conducir a la obtención de técnicas mejoradas para manipular y ayudar a preservar la viabilidad de órganos durante la cirugía, e incluso a mejorar la tecnología para su uso en hipotermia o crioconservación de tejidos y órganos, previo a trasplante. Lutz, Prentice y Milton (2003) propusieron que las tortugas pueden ser un excelente modelo para estudiar envejecimiento versus longevidad. Al parecer, el proceso que protege el cerebro de las tortugas contra la anoxia y la subsecuente reoxigenación debe contribuir a la longevidad de las tortugas, debido a que algunos procesos están relacionados con la neurodegeneración relacionada con la edad.

Las tortugas marinas, un grupo de siete especies, son los reptiles más distribuidos en todo el mundo. Sin embargo, se encuentran en declive poblacional, amenazadas o en peligro de extinción, debido a influencias antrópicas y ambientales. Una de estas especies de tortugas que anida en playas del Caribe colombiano es la tortuga cabeza *Caretta caretta*, que habita aguas tropicales y subtropicales; son animales longevos y de madurez tardía. Las tortugas cabezas son reptiles altamente migratorios que buscan profundidades adecuadas para alimentarse, protegerse o habitar. Gastan la mayor parte de su tiempo buceando debajo de la superficie marina (entre el 80 y 90 % del tiempo). Las adaptaciones metabólicas y los mecanismos fisiológicos que sustentan su capacidad para moverse por grandes distancias, con tiempos de anoxia prolongados y mantenimiento apropiado de agua, han sido el objetivo de gran interés por muchos años. Las tortugas cabezas exhiben generalmente un comportamiento contrario al esperado en buceadores que respiran aire; las tortugas de caparazón duro descansan en el fondo, regularmente por largos periodos durante las etapas demersales de su ciclo de vida. Tienen alta capacidad anaeróbica y cerebro tolerante a la anoxia. Debido a que, cuando los pulmones colapsan durante inmersiones profundas, su capacidad

de almacenamiento es prescindible, las especies incrementan su volumen sanguíneo y las concentraciones de los pigmentos respiratorios. Adicionalmente, la tolerancia a la anoxia es desarrollada, al parecer, conforme aumentan de tamaño, lo que define la profundidad a la cual realizan buceos.

Las tortugas marinas *Caretta caretta* han sido estudiadas en los últimos diez años por el grupo de investigación Genbimol de la Universidad Jorge Tadeo Lozano, y por tal motivo representa el modelo de estudio de tortugas marinas, en este caso de anoxia-tolerancia. Es importante dilucidar cómo las tortugas marinas han alterado las vías moleculares de detección y respuesta a la anoxia que podrían explicar su extraordinaria capacidad para sobrevivir en condiciones limitadas de oxígeno. Una vía metodológica para obtener respuesta a esta pregunta la representan los análisis transcryptómicos, método basado en la secuenciación de alto rendimiento (RNA-seq), que permite estudiar la expresión diferencial de genes entre organismos con condiciones biológicas diferentes. A diferencia del genoma, relativamente estable, el transcriptoma varía con la edad, el estado de desarrollo, condición fisiológica y el ambiente. Además, la transcriptómica ha sido utilizada para investigar organismos no modelo, como es el caso de la tortuga cabezona. De esta manera, en aras de establecer si algunos de los marcadores, vías metabólicas o procesos moleculares asociados a la tolerancia a la anoxia en tortugas dulceacuícolas, vertebrados modelo, se encuentran presentes en la tortuga cabezona, e identificar si la anoxia es una adaptación que se desarrolla de acuerdo a la edad de las tortugas, se deben realizar estudios tendientes a conocer y explicar estos fenómenos biológicos.

**Javier Hernández-Fernández**

Editor de Ciencias Naturales

<http://dx.doi.org/10.21789/22561498.1250>

## REFERENCIAS

- Buck, L. T. (2004). Adenosine as a signal for ion channel arrest in anoxia-tolerant organisms. *Comparative Biochemistry and Physiology. B, Biochemistry and Molecular Biology*. <https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2004.04.002>
- Krivoruchko, A. y Storey, K. B. (2010). Regulation of the heat shock response under anoxia in the turtle, *Trachemys scripta elegans*. *Journal of Comparative Physiology. B, Biochemical, Systemic, and Environmental Physiology*. <https://doi.org/10.1007/s00360-009-0414-9>
- Lutz, P. L., Prentice, H. M. y Milton, S. L. (2003). Is turtle longevity linked to enhanced mechanisms for surviving brain anoxia and reoxygenation? *Experimental Gerontology*. [https://doi.org/10.1016/S0531-5565\(03\)00111-6](https://doi.org/10.1016/S0531-5565(03)00111-6)
- Ultsch, G. R. (1989). Ecology and physiology of hibernation and overwintering among freshwater fishes, turtles, and snakes. *Biological Reviews*, 64(4), 435-515. <https://doi.org/10.1111/j.1469-185X.1989.tb00683.x>

# Brasicáceas y perspectivas de control biológico del insecto plaga *Plutella xylostella* (Lepidóptera: *Plutellidae*) utilizando *Bacillus thuringiensis*

## Brassicaceas and perspectives of biological control of the insect *Plutella xylostella* (Lepidoptera: *Plutellidae*) using *Bacillus thuringiensis*

Julieth Mena Guerrero

Investigadora del Grupo de Investigación Genética, Biología Molecular y Bioinformática (Genbimol) del Departamento de Ciencias Biológicas y Ambientales de la Facultad de Ciencias Naturales e Ingeniería de la Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Bogotá, D. C., Colombia

Javier Hernández Fernández

Profesor asociado y líder del Grupo de Investigación Genética, Biología Molecular y Bioinformática (Genbimol) del Departamento de Ciencias Biológicas y Ambientales de la Facultad de Ciencias Naturales e Ingeniería de la Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Bogotá, D. C., Colombia

<http://orcid.org/0000-0001-8442-9266>  
javier.hernandez@utadeo.edu.co

Fecha de recepción: 20 de junio de 2017

Fecha de aceptación: 30 de septiembre de 2017

**Sugerencia de citación:** Mena Guerrero, J. y Hernández Fernández, J. (2017). Brasicáceas y perspectivas de control biológico del insecto plaga *Plutella xylostella* (Lepidóptera: *Plutellidae*) utilizando *Bacillus thuringiensis*. *Mutis*, 7(2), 7-22, en prensa, doi: <http://dx.doi.org/10.21789/22561498.1245>

**Editor:** Hernández Fernández, J. [javier.hernandez@utadeo.edu.co](mailto:javier.hernandez@utadeo.edu.co)

## RESUMEN

La *Plutella xylostella* (L.) es un insecto plaga que afecta principalmente los cultivos de brasicáceas o crucíferas como el repollo, coliflor, brócoli y rábano, entre otros. Las limitaciones del rendimiento y calidad de estos cultivos se deben principalmente al difícil manejo de esta plaga. En la actualidad, para controlar la *P. xylostella* se utilizan insecticidas de síntesis química, como piretroides, carbamatos u organofosforados, los cuales tienen acción inmediata pero causan efectos adversos en la salud y en el ambiente. Adicionalmente, la ausencia de enemigos naturales capaces de controlar a sus poblaciones, y su resistencia a numerosos insecticidas convencionales hacen que este insecto se establezca rápidamente en áreas productoras de brasicáceas. Se calcula que los costos mundiales asociados al control de la *P. xylostella*, sumados a las pérdidas en la producción agrícola, están entre cuatro y cinco billones de dólares anuales.

Se han propuesto alternativas seguras, efectivas y de menor impacto ambiental, como el control biológico, que permite la producción sostenible de los cultivos de brasicáceas. La industria agrícola y forestal reconoce a la bacteria entomopatógena *Bacillus thuringiensis* (*Bt*) como una buena alternativa biológica a los insecticidas químicos,



puesto que es inocua sobre el ambiente y su toxicidad es altamente selectiva, ligada a su estrecho rango de especificidad sobre diferentes insectos plaga de los órdenes Lepidóptera, Coleóptera y Díptera. En esta revisión se presentan las posibilidades actuales que se pueden emplear para el control de la *P. xylostella* utilizando modelos investigativos basados en ensayos biológicos con *Bt*. Dichas posibilidades buscan superar las desventajas existentes en relación con la plaga *P. xylostella* y los cultivos de brasicáceas, además de entender la fisiología de *Bt* bajo condiciones que permitan incrementar la eficacia en el control biológico.

**Palabras clave:** manejo integrado de plagas, insecticidas químicos, toxinas Cry, mortalidad,  $LC_{50}$ .

## ABSTRACT

*Plutella xylostella* (L.) is an insect pest that mainly affects the brasicaceae or crucifers crops such as cabbage, cauliflower, broccoli, radish, inter alia. The limitations of the yield and the quality of these crops, is mainly directed to the management of this pest. At present, for the control of *P. xylostella* is used insecticides of chemical synthesis, such as pyrethroids, carbamates, organophosphates, which have immediate action, but cause adverse effects on health and the environment. In addition, the absence of natural enemies capable of controlling populations and the ability to be resistant to conventional insecticides, causes this insect to establish quickly in brasicaceae producing areas. Currently, global costs associated with the control of *P. xylostella*, along with losses in agricultural production, are estimated between four and five billion dollars per year.

Safe and effective alternatives with less environmental impact such as biological control have been proposed, which allows the sustainable production of crucifers crops. The agricultural and forestry industry recognizes the entomopathogenic bacterium *Bacillus thuringiensis* (*Bt*) is the best biological option to insecticides, since it is innocuous to the environment and possesses a highly selective toxicity linked to its narrow range of specificity on different insects pest such as Lepidoptera, Coleoptera and Diptera. This review presents the possibilities that can be used for the control of *P. xylostella* using the models based on biological tests with *Bt*. These possibilities seek to overcome the disadvantages that exist in relation to *P. xylostella* pest and the brasicaceas crops, besides understanding the physiology of *Bt* under conditions that allow to increase the effectiveness in the biological control.

**Keywords:** Integrated Pest Management, chemical insecticides, Cry toxins, mortality,  $LC_{50}$ .

## INTRODUCCIÓN

Las crucíferas o brasicáceas son una familia de plantas de interés agrícola que incluye plantas cultivadas y silvestres de brócoli, coliflor, repollo, colza, mostaza y rábano, entre otras (Corpoíca, 1998). Durante la década del 2000, la producción mundial media estimada para estos cultivos fue de treinta millones de hectáreas (Zalucki, Shabbir, Silva, Adamson, Shu-Sheng y Furlong, 2012). La producción y el rendimiento de brasicáceas dependen y están limitados principalmente por la incidencia de plagas, entre las que se encuentran insectos coleópteros (*Phyllotreta nemorum*,

*Harmonia conformis*), áfidos (*Brevicoryne brassicae*, *Lipaphis erysimi*, *Myzus persicae*) y lepidópteros (*Pieris spp.*, *Crociodolomia binotalis*, *Hellula undalis* y *Plutella xylostella*) (Srinivasan, Shelton y Collins, 2011).

La *P. xylostella* (Lepidóptera: Plutellidae) es la plaga más frecuente, destructiva e importante para el cultivo de brasicáceas a escala mundial (Shelton, Sances, Hawley, Tang, Boune, Jungers, Collins y Farias, 2000; Furlong, Wright y Dossdall, 2013). Las pérdidas ocasionadas por este insecto son inciertas. Sin embargo, Shelton, *et al.* (2000) predicen que podrían llegar a ser del 90 %, de acuerdo con las características ambienta-

les del lugar de cultivo, el periodo de crecimiento y la frecuencia de aplicación de insecticidas. Es un insecto plaga de difícil manejo debido a que presenta resistencia a numerosos insecticidas (Tabashnik, Cushing y Johnson, 1987; Shelton, *et al.*, 2000) y su potencial reproductivo va en aumento por la ausencia de enemigos naturales (Muñiz, Marí, Díaz, Gámez, Ávila, Herrera, Dorantes y Gámez, 2013). Es por esto que los agricultores prefieren utilizar insecticidas de síntesis química para controlarlo, ya que tienen un efecto *knock-down* inmediato y se encuentran fácilmente en el comercio local. En general, estos insecticidas son altamente tóxicos para la salud humana y el medio ambiente. Por ejemplo, los insecticidas que contienen metil paratión, malatión, endosulfán, carbaril, dimetoato y metamidofos son de uso corriente en cultivos de repollo en Tailandia (Panuwet, Siritwong, Prapanontol, Ryan, Fiedler, Robson y Boyd, 2012) y son productos que están prohibidos en varios países, y están clasificados por la Organización Mundial de la Salud como sustancias extremadamente peligrosas (1a) y altamente peligrosas (1b) (OMS, 1996). El abuso de este tipo de insecticidas en la producción de brasicáceas plantea riesgos asociados con fenómenos de resistencia, como es el caso de poblaciones de *P. xylostella* recolectadas en cultivos de crucíferas en Brasil, que mostraron una resistencia significativa a los insecticidas abamectina (Vertimec<sup>®</sup>), metomil (Lannate<sup>®</sup>), lufenurón (Match<sup>®</sup>), indoxacarb (Steward<sup>®</sup>) y diafen-tiuron (Polo<sup>®</sup>) (Santos, Siquiera, da Silva y de Farias, 2011). Adicionalmente, el riesgo que representan los insecticidas de síntesis química para la salud de los productores, consumidores y el medio ambiente ha generado un creciente interés en las técnicas de manejo integrado de plagas (MIP) contra la *P. xylostella* (Srinivasan, *et al.*, 2011).

El control biológico es uno de los principales componentes del MIP, que utiliza enemigos naturales para el manejo de plagas agrícolas. Actualmente, debido a la grave amenaza que representa la *P. xylostella* para los cultivos de crucíferas, se ha incrementado el interés por adoptar herramientas amigables con el medio ambiente y la salud humana. Se ha fomentado el uso de bioinsecticidas, principalmente fórmulas que contienen la bacteria entomopatógena *Ba-*

*cillus thuringiensis* (*Bt*), compuestas principalmente de mezclas de esporas y cristales derivados de la actividad biológica específica de *Bt* var. *aizawai* HD137 (XenTari<sup>®</sup> WG) (que sintetiza las proteínas Cry1Aa, Cry1Ab, Cry1Ac, Cry2A y Cry2B) y *Bt* var. *kurstaki* HD1 (Dipel<sup>®</sup>) (que sintetiza las proteínas Cry1Aa, Cry1Ab, Cry1C y Cry1D y Cry2B), que han conducido al uso racional de insecticidas de síntesis química en México y a la reducción significativa del uso de estos en países del sudeste asiático, como Indonesia, Malasia, Filipinas y Tailandia (Srinivasan, *et al.*, 2011). Al mismo tiempo, se ha requerido que otras organizaciones a escala mundial, como la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, 2005), desarrollen y fomenten un control eficaz, sostenible y económicamente rentable de la *P. xylostella*, dado que los costos del control y las pérdidas de producción, si no se aplican estrategias de manejo integrado, se estiman en billones de dólares anuales en todo el mundo (Zalucki, *et al.*, 2012), lo que convierte a la *P. xylostella* en la plaga más importante para el cultivo de brasicáceas (Furlong, *et al.*, 2013).

## **PLUTELLA XYLOSTELLA Y LOS CULTIVOS DE BRASICÁCEAS**

Los cultivos de brasicáceas o crucíferas como el repollo (*Brassica oleracea* var. *capitata*), coliflor (*B. oleracea* var. *botrytis*), brócoli (*B. oleracea* var. *italica*), rábano (*Raphanus sativus*), nabo (*B. rapa pekinensis*), col de bruselas (*B. oleracea* var. *gemmifera*), repollo chino (*B. rapa* var. *pekinensis*), mostaza (*B. juncea*) y colza (*B. napus*), entre otras, se encuentran extensamente distribuidos en el mundo (Srinivasan, *et al.*, 2011). El brócoli y la coliflor representan una importante fuente de divisas y significativos beneficios para los productores de México (Muñiz, Marí, Díaz, Gámez, Ávila, Herrera, Dorantes y Gámez, 2013) y de otros países. Las limitaciones del rendimiento y calidad de estos cultivos se deben en gran medida a la *P. xylostella* y su capacidad de resistencia a numerosos insecticidas de origen químico convencionales, tales como el DDT (Digmar<sup>®</sup>), diazinón (Basudin<sup>®</sup>), permetrina (Depe<sup>®</sup>), fenvalerato (Fenkil<sup>®</sup>) (Tabashnik, *et al.*, 1987; Shelton, *et al.*, 2000); deltametrina (Decis<sup>®</sup> Forte 10 EC) (Rosa, Araya, Guerrero y Lamborot,

1997); clorantniliprol (Rynaxypyr<sup>®</sup>), flubendiamida (Belt<sup>®</sup> sc) (Wang, Khakame, Ye, Yang y Wu, 2012); abamectina (Vertimec<sup>®</sup>) (Wang y Wu, 2014; Xia, Lu, Shen, Gao, Qiu y Li, 2014; Wang, Wei, Zhu y Zhou, 2015); spinosad (Tracer<sup>®</sup>), clorfluazuron (Ishipron<sup>®</sup>), indoxacarb (Steward<sup>®</sup>), beta-cipermetrina (Sipertrin<sup>®</sup>) (Xia, *et al.*, 2014; Jiang, Wu, Yang, Zhu y Gao, 2015; Wang, *et al.*, 2015); clorfenapir (Sunfire<sup>®</sup> 24 SC) (Jiang, *et al.*, 2015; Wang, *et al.*, 2015) y benzoato de emamectina (Proclaim<sup>®</sup> Forte) (Wang, *et al.*, 2015). Dicha resistencia prevalece sobre todo en las regiones tropicales y subtropicales, donde la producción de cultivos es prácticamente continua. En Malasia, más del 90 % de los agricultores emplean entre tres y cuatro tipos de insecticidas químicos durante 10-12 semanas, con una frecuencia de una a dos veces por semana (Furlong, *et al.*, 2013). Esto, unido a la ausencia de enemigos naturales en los cultivos de crucíferas, hace que la *P. xylostella* se establezca rápidamente en áreas productoras o emigre a nuevas zonas para aumentar su potencial reproductivo (Muñiz, *et al.*, 2013), para así alcanzar hasta el 75 % de la población total de insectos en los cultivos (Shelton, *et al.*, 2000).

El potencial reproductivo de la *P. xylostella* está determinado principalmente por el entorno ambiental para desarrollar su ciclo de vida en 32 días, desde huevo hasta adulto, pasando por larva y pupa. Las hembras eligen sitios de ovoposición adecuados y asociados a condiciones de temperatura y humedad favorables, y a estímulos visuales, físicos y químicos provenientes de las plantas (Sarfranz, Dossdall y Keddie, 2006; Dossdall, 2014). Entre las etapas del ciclo de vida, el primer estadio larval de la *P. xylostella* es el que produce el mayor impacto sobre las plantas crucíferas. En este estadio, las larvas penetran y se alimentan del tejido de las hojas, mientras que, en los estadios posteriores, las larvas se alimentan en la superficie de hojas, brotes, flores y vainas. Cabe señalar que, por las condiciones de temperatura y humedad de los trópicos, en épocas secas, los daños que produce este insecto se acentúan debido a la ausencia de lluvias que podrían arrastrar las larvas fuera de los cultivos (Ibiza, 2015), por lo que pueden completar varios ciclos de vida de forma continua.

El primer reporte del costo anual del control de la *P. xylostella* en la agricultura fue estimado en un billón de dólares por Talekar y Shelton (1993). Actualmente se tiene como referente el resultado presentado por Zalucki, *et al.* (2012), quienes calculan que los costos mundiales asociados a este proceso, sumados a las pérdidas de producción, representan entre cuatro y cinco billones de dólares anuales. El control de esta plaga, que depende en gran medida de aplicaciones de insecticidas de síntesis química, constituye, por tanto, el mayor costo fijo en la producción agrícola de brasicáceas a escala mundial. Una herramienta fundamental para el control de los cultivos es el manejo integrado de plagas (MIP), debido a que propone alternativas que no se limitan al uso de insecticidas, sino que combinan herramientas como labores culturales, mecánicas o biológicas, tales como saneamiento vegetal, riego, rotación de cultivos y control biológico (Navarro, 2010). Este último corresponde al uso de organismos vivos o sus productos, con el fin de reducir las poblaciones de organismos plaga para aminsonar sus efectos perjudiciales en los cultivos (López Pazos, 2011).

Existe una diversidad de organismos patógenos asociados al control de insectos plaga, entre los que se encuentran bacterias, hongos, protozoarios, nematodos y virus (Muñiz *et al.*, 2013). A pesar de que estos se han identificado como organismos que conservan el equilibrio natural en el agroecosistema, representan únicamente una demanda de us 0.63 billones en el mercado internacional anual, comparada con us 25.3 billones por uso de insecticidas de síntesis química (Ibrahim, Griko, Junker y Bulla, 2010). Entre los patógenos de insectos plaga más utilizados en la entomología económica, la bacteria *Bacillus thuringiensis* es el agente de control más común (Hernández Fernández, 2016).

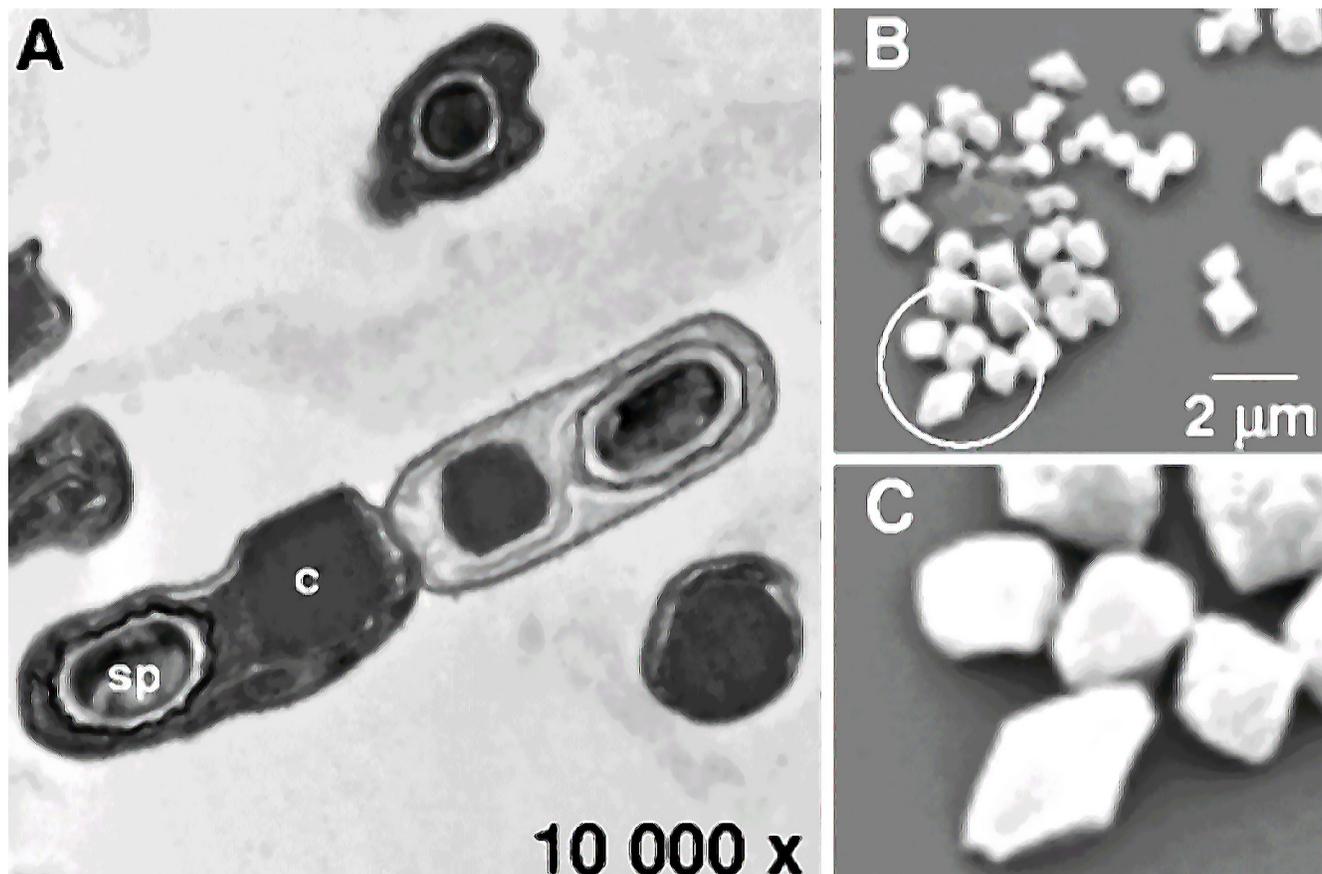
## **BACILLUS THURINGIENSIS**

El *Bacillus thuringiensis* (*Bt*) es una bacteria en forma de bacilo, grampositiva, aeróbica facultativa, quimioorganótrofa, con actividad catalasa y formadora de esporas. Su tamaño oscila entre 1 y 1.2  $\mu\text{m}$  de ancho y 3 a 5  $\mu\text{m}$  de largo (Gordon, Haynes y Pang, 1973;

Hernández Fernández y López Pazos, 2011). El *Bt* es considerado una bacteria ubicua, ampliamente distribuida, que se ha aislado en diferentes ambientes, como el suelo, el agua dulce, alimentos, cadáveres de insectos, anélidos, crustáceos, mamíferos insectívoros y ecosistemas de manglar (Hernández Fernández, 2016). Pertenece al orden *Eubacterias*, familia *Bacillaceae*, grupo I del género *Bacillus* (Hofte y Whiteley, 1989; Porcar y Juárez Pérez, 2004). Se diferencia de otras especies de su género por producir un cuerpo o inclusión parasporal, conocido como *crystal*, durante su fase de esporulación, que tiene propiedades insecticidas específicas contra ciertos órdenes de insectos, y resulta del ensamblaje de unidades polipeptídicas (denominadas *delta endotoxinas*) de diferentes pesos moleculares que oscilan entre 27 y 140 kDa (Schnepf,

Crickmore, Van Rie, Lereclus, Baum, Feitelson, Zeigler y Dean, 1998; Hofte y Whiteley, 1989). Los cristales tienen diversas formas: bipiramidal, cuboidal, romboide, oval, esférica, plana o, en algunos casos, sin forma definida, y son refringentes al microscopio de contraste de fases (Porcar y Juárez Pérez, 2004; Soberón y Bravo, 2007; Hernández Fernández, 2016) (figura 1). Diferentes estudios han determinado asociaciones entre la morfología del cristal, sus proteínas Cry constituyentes, el peso molecular de estas y su espectro de actividad insecticida. Sin embargo, también existen trabajos en los que se describen cristales parasporales que, a pesar de tener morfologías asociadas a una toxicidad específica, no parecen tener actividad insecticida alguna (López Meza e Ibarra, 1996; Benintende, López Meza, Cozzi, e Ibarra, 1999).

**Figura 1.** Micrografía electrónica de esporas de *B. thuringiensis* (a) y de proteínas Cry purificadas (b y c). sp, espora; c, *crystal*



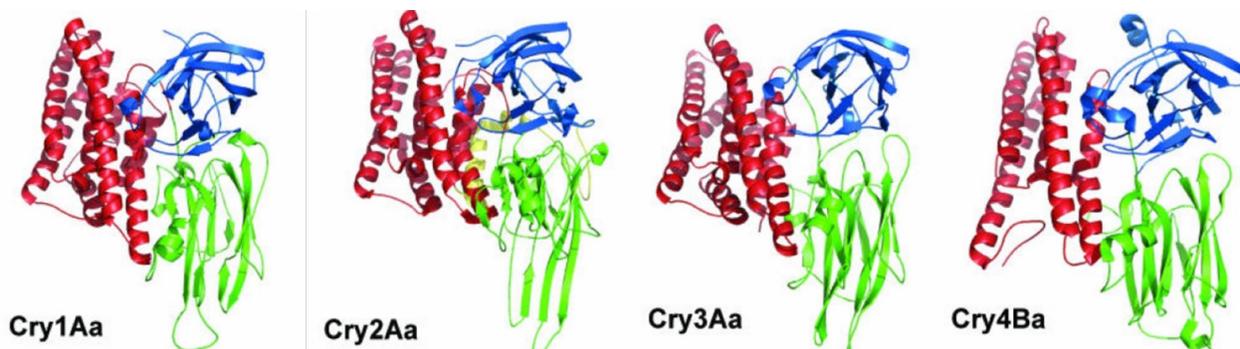
Fuente: Swiecicka, Bideshi y Federeci, 2008. doi: <http://dx.doi.org/10.1128/AEM.01955-07>

El esfuerzo continuo de varios países para aislar y caracterizar nuevas cepas de *Bt* y proteínas Cry ha producido, en la actualidad, el conocimiento de una mayor variedad de genes *cry* (981 en total), clasificados en 73 familias (*cry1-cry73*) de acuerdo con su secuencia primaria de aminoácidos (Crickmore, Baum, Bravo, Lereclus, Narva, Sampson, Schnepf, Sun, y Zeigler, 2016, <http://www.btnomenclature.info/>). Las proteínas codificadas presentan una identidad aminoacídica que puede variar desde 20 % hasta 90 % (Sauka y Benintende, 2008), lo que demuestra su gran variabilidad genética. Los genes *cry* tienen una secuencia codificante compuesta por entre 1900 y 3600 pares de bases (pb) (Crickmore *et al.*, 2016), que determinan la toxicidad sobre larvas de insectos plaga de los órdenes Lepidóptera, Coleóptera y Díptera, principalmente (van Frankenhuyzen, 2009). La mayoría de los genes *cry* que se conocen pertenecen al grupo *cry1*, y su actividad corresponde específicamente al orden Lepidóptera. Estos genes codifican proteínas de entre 70 y 130 kDa, aproximadamente, y durante la esporulación se agrupan principalmente en cristales bipiramidales (Roh, Choi, Li, Jin y Je, 2007). Además, 278 genes *cry1* están descritos y clasificados en 14 clases (desde A hasta N) (Crickmore *et al.*, 2016). De estas clases, el gen *cry1A* es el que se detecta con mayor frecuencia; otros, como los genes *cry1B*, *cry1C* y *cry1D*, se encuentran menos frecuentemente, en tanto que genes como *cry1H*, *cry1K*, *cry1L* y *cry1N* son muy raros en la naturaleza (Sauka y Benintende, 2008). La frecuencia de detección de los distintos genes *cry* varía en forma marcada, y esto depende en parte del modo de acción de las toxinas Cry y la estructura tridimensional de las proteínas.

## ESTRUCTURA TRIDIMENSIONAL DE LAS TOXINAS CRY

La estructura tridimensional de las toxinas Cry está compuesta por tres dominios funcionales. El dominio I está conformado por un paquete de siete alfa hélices antiparalelas (hidrófobas e hidrófilas), en las que seis hélices hidrófilas rodean a la quinta hélice hidrófoba (figura 2). Cada una de las hélices hidrófilas presenta residuos polares en la cara externa, mientras que los residuos hidrófobos se orientan hacia la alfa hélice central (De León, 2010). Se considera que este dominio está involucrado en la formación del poro e inserción en la membrana en el epitelio intestinal del organismo susceptible (Hernández Fernández y López Pazos, 2011; Bravo, Gómez, Porta, García Gómez, Rodríguez Almazán, Pardo y Soberón, 2012). El dominio II es el más variable, ya que conserva en menor grado la secuencia y estructura terciaria entre las toxinas Cry (De Maagd, Bravo y Crickmore, 2001). Está conformada por tres hojas plegadas antiparalelas  $\beta$  y por tres asas distribuidas en una topología tipo "llave griega" (figura 2) (Hernández Fernández y López Pazos, 2011; Bravo *et al.*, 2012). En las asas de sus hojas plegadas  $\beta$  se observa la mayor diferencia estructural (De León, 2010). Las asas de este dominio presentan similitud con los sitios de unión antígeno-anticuerpo, y juegan un papel fundamental en la especificidad de la toxina. Es en la sección de las asas donde se reconoce el receptor que se encuentra en las microvellosidades de las células epiteliales del intestino medio del organismo susceptible (De León, 2010). El último dominio funcional consiste en dos láminas plegadas  $\beta$  antipa-

**Figura 2.** Estructura general de las toxinas Cry de tres dominios. Los dominios I, II y III se muestran en rojo, verde y azul, respectivamente



Adaptado de Pigott y Ellar, 2007. doi: <http://dx.doi.org/10.1128/MMBR.00034-06>

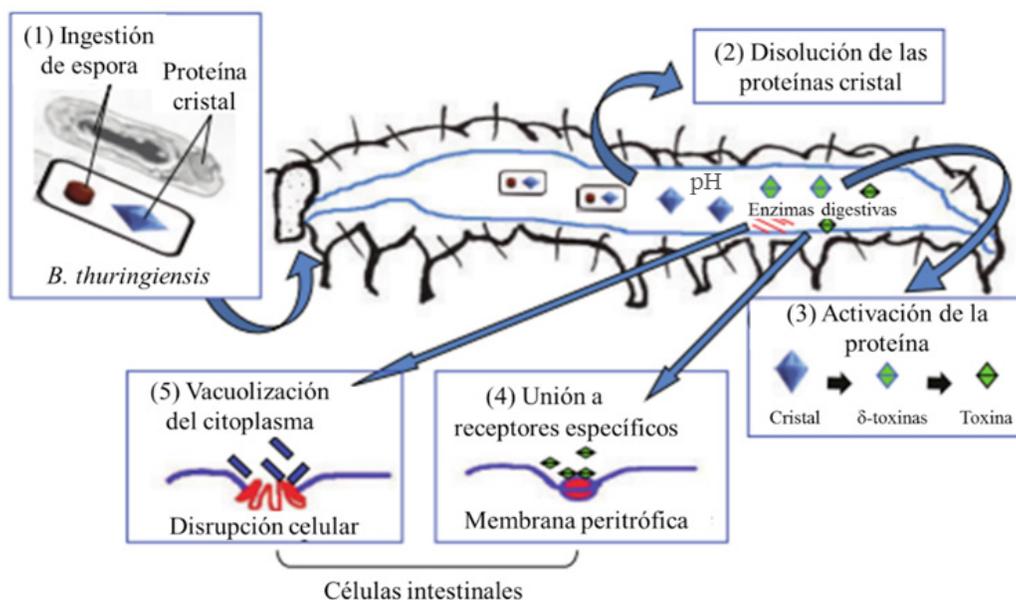
ralelas (figura 2), que forman un  $\beta$ -sándwich, y está involucrado en el mantenimiento de la integridad estructural de la toxina ante la proteólisis en el intestino del organismo susceptible. Participa en la interacción con receptores presentes en el epitelio intestinal del insecto blanco, en la penetración en la membrana celular y en la formación de canales iónicos que generan desbalance osmótico (Schnepf, *et al.*, 1998; Bravo, *et al.*, 2012; Hernández Fernández y López Pazos, 2011).

## MECANISMO DE ACCIÓN DE LAS TOXINAS CRY

El modelo que mejor explica el modo de acción de las toxinas Cry en lepidópteros es el de Bravo *et al.* (2012), en el que las proteínas Cry son sintetizadas como una protoxina que se cristaliza para formar inclusiones proteicas. Cuando una larva de insecto susceptible ingiere las esporas y los cristales de *Bt*, estos se solubilizan en el intestino medio del insecto, debido al ambiente alcalino que rompe los enlaces disulfuro (determinantes de la toxicidad de la proteína

Cry), y facilitan la liberación de las protoxinas. Estas protoxinas son estimuladas por proteasas (tripsinas o quimotripsinas) que provocan cortes en la molécula, dejando una toxina de tres dominios completamente activada con un tamaño molecular aproximado de 55 a 65 kDa. La toxina tiene alta afinidad con receptores específicos, y reconoce especialmente un receptor primario tipo cadherina (CADR: glicoproteína) en las microvellosidades celulares del intestino del insecto susceptible, que interactúa con la toxina Cry y provoca un cambio conformacional en la proteína, lo que facilita la oligomerización y la formación de un prepore. De acuerdo con Bravo, *et al.* (2012) y Pigott y Ellar (2007), una vez formado el prepore, este tiene alta afinidad con receptores secundarios de la membrana apical, como las N aminopeptidasas (APN), alcalino fosfatasas (ALP) y glicolípidos que interactúan en regiones específicas de la membrana y facilitan la formación de poros líticos. Estos últimos permiten el paso de iones, agua y la germinación de esporas, lo que causa hinchazón, lisis y finalmente septicemia del hospedero (figura 3).

**Figura 3.** Modo de acción del *B. thuringiensis* sobre insectos Lepidóptera. 1) Ingestión de bacterias, 2) solubilización de los cristales, 3) activación de la proteína, 4) unión de proteínas a los receptores, 5) formación de poros en la membrana y lisis celular



Adaptado de Schünemann, Knaak y Fiuza, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1155/2014/135675>

## EL BACILLUS THURINGIENSIS Y CONTROL DE LA PLUTELLA XYLOSTELLA

El *Bt* se considera un entomopatógeno de relevancia, debido a que produce una gran diversidad de proteínas Cry que presentan un alto grado de plasticidad y variabilidad genética (Schnepf, *et al.*, 1998) con potencial y amplias perspectivas para el control biológico de insectos plaga a escala mundial (Hernández Fernández y López Pazos, 2011).

A partir del conocimiento descrito y la aplicación de la tecnología del ADN recombinante se ha conseguido (usando varios hospederos de expresión) la clonación, purificación y expresión de nuevas proteínas Cry. Además, se ha logrado determinar la actividad tóxica de estas proteínas sobre varias especies de insectos lepidópteros, coleópteros y dípteros plaga. En este contexto, Pan, Xu, Zhu, Shi, Chen y Liu (2014) aislaron y caracterizaron el gen *cry2Ab3* que identificaron en la cepa nativa *Bt* FJAT-12 en Fujian, China. Ellos clonaron y expresaron el gen en *Escherichia coli* DH5 $\alpha$  y *E. coli* BL21 y evaluaron la actividad insecticida de la proteína transformada contra la *P. xylostella*, y produjeron una concentración letal 50 (LC<sub>50</sub>), de 1,03 $\times$ 10<sup>-5</sup>  $\mu$ g.ml<sup>-1</sup>.

Dai, Su, Jin, Zhang, Guan, Chen, Shu y Huang (2016) clonaron, expresaron y purificaron el gen *cry1Na3* de *Bt* BCR-ZYR2 a partir de datos y análisis genómicos previamente obtenidos. Su evaluación demostró que esta proteína es tóxica sobre larvas de la *P. xylostella* con una LC<sub>50</sub> de 3,69  $\mu$ g.ml<sup>-1</sup>. Además, el estudio evidenció que esta toxina también afecta a otras plagas de importancia económica, como la *Ostrinia furnacalis* (lepidóptera), *Spodoptera exigua* (lepidóptera), *Colaphellus bowringi* (coleóptera) y *Laodelphax striatellus* (hemíptera). Los valores de la LC<sub>50</sub> fueron 31, 3, 500, 500 y 250  $\mu$ g.ml<sup>-1</sup>, respectivamente, sobre estos insectos.

Los estudios descritos dejan en claro que el aislamiento e identificación de cepas bacterianas posibilitan la formulación de nuevos bioinsecticidas. En ese sentido, Chen, M., Chen, P., Pang, Lin, Hwang y Tsen (2014) obtuvieron 60 cepas (*Bt* TT1-TT62) que fueron aisladas de suelos y graneros en Taiwán. Posteriormente identificaron, caracterizaron y diferenciaron dichas cepas con los métodos RAPD y PFGE, que a su vez

permitieron determinar la presencia o ausencia de 13 genes *Cry* seleccionados previamente con posible actividad la *P. xylostella* (*Cry1*, *Cry1B*, *Cry1E*, *Cry2Aa1*, *Cry3A*, *Cry4A2*, *Cry7*, *Cry8D*, *Cry9A*, *Cry9C*, *Cry9Ea*, *Cry22* y *Cry32Aa*). Luego, en cada una de las cepas de *Bt* determinaron la concentración de las proteínas y evaluaron su actividad insecticida en larvas de tercer estadio de la *P. xylostella*. Para cada cepa de *Bt* fueron evaluados tres tiempos de incubación (24, 48 y 72 horas) con dos dosis de concentración de proteína (25 mg.L<sup>-1</sup> y 250 mg.L<sup>-1</sup>). Los resultados demostraron tasas de mortalidad mayores al 90 % en las cepas TT35, TT46 y TT46 con la concentración de 250 mg.L<sup>-1</sup> después de 24, 48 y 72 horas, respectivamente. Por el contrario, con la concentración de 25 mg.L<sup>-1</sup>, 19 cepas mostraron mayor actividad que las cepas de referencia (TT12 y TT13) después de 24 horas de aplicado el tratamiento. De igual forma, los autores determinaron que la mortalidad de las larvas aumentó gradualmente con la duración del tiempo de incubación. Por otro lado, seleccionaron 29 cepas al azar para identificar la presencia o ausencia de los 13 genes seleccionados previamente y encontraron que ninguna de las 29 cepas contenía los genes *Cry1E*, *Cry3A*, *Cry4A2*, *Cry8D*, *Cry9A*, *Cry9C* y *Cry32Aa*. Ellos hallaron que la presencia de los genes *Cry2Aa1* y *Cry9Ea* se correlacionó positivamente con la actividad insecticida de las cepas de *Bt* sobre la *P. xylostella* a las 24, 48 y 72 horas de incubación. Es decir, la presencia de estos genes tuvo un mayor efecto sobre la *P. xylostella*, y pueden ser utilizados como referencias para predecir la actividad insecticida contra este insecto plaga. Cabe señalar que todas las cepas seleccionadas al azar fueron positivas para la presencia de genes *Cry1*, con la diferencia de que cinco cepas (TT 12, 30, 48, 50 y 59) exhibieron altos niveles de actividad insecticida (60 % a 80 % con 25 mg.L<sup>-1</sup> de proteína) debido a que mostraron sobresalientes niveles de expresión de dicho gen comparado con nueve cepas (TT 3, 4, 11, 19, 23, 47, 49, 56 y 57) que mostraron bajos niveles de expresión del gen *Cry1* y mostraron bajos niveles de actividad insecticida. Estos resultados demostraron que cepas con altos niveles de expresión del gen *Cry1* tienen significativamente mayor actividad insecticida contra la *P. xylostella* que aquellos con bajos niveles de expresión de este gen. Además, esto implica que el

alto nivel de expresión de los genes *Cry1* desempeña un papel clave para determinar la actividad insecticida de las cepas *Bt* contra larvas de la *P. xylostella*.

Rekha, Srinivasan, Kumar, Bharpoda y Cgatterjee (2011) realizaron un bioensayo en el que determinaron la susceptibilidad de las toxinas *Cry1Ac*, *Cry1Ba2* y *Cry1Ca4* sobre larvas de la *P. xylostella*. En todos los casos la susceptibilidad de este insecto ante las tres toxinas fue alta. La  $CL_{50}$  de las toxinas *Cry1Ac*, *Cry1Ba2* y *Cry1Ca4* fue de 0.06-0.10  $\mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$ , 0.08-0.09  $\mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$  y 0.06-0.09  $\mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$ , respectivamente. Finalmente, los autores sugirieron que las poblaciones de la *P. xylostella* pueden ser controladas usando formulaciones comerciales de *Bt* que contengan cualquiera de estas toxinas *Cry*.

Legwaila, Munthalli, Kwerepe y Obopile (2015) realizaron un bioensayo para determinar la  $LD_{50}$  y  $LD_{90}$  de *Bt* var. *kurstaki* (*Btk*) frente a huevos y larvas de segundo estadio de la *P. xylostella*, en Gaborone, Botswana. Utilizaron seis tratamientos bajo condiciones de invernadero (semicontroladas) que comprendían cinco concentraciones de *Btk* Vectobac® (2, 4, 6, 8 y 10  $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$  de agua) y un control de agua destilada. En cada tratamiento se utilizaron nueve plántulas de repollo previamente adaptadas en jaulas de cría. Posteriormente, sobre dichas plántulas, en las que había entre 50-70 huevos (c/u) y 30-40 larvas (c/u), se pulverizaron las concentraciones del producto. Los huevos ovipositados en cada planta se contaron inmediatamente antes de la aplicación de los tratamientos, y se recontaron a las 48, 72 y 96 horas, mientras que las larvas se evaluaron a intervalos de 24, 48, 72, 96, 120 y 144 horas después de aplicado el tratamiento. Los resultados indicaron que la  $LD_{50}$  y  $LD_{90}$  de *Btk* frente a huevos de la *P. xylostella* cuando se evaluaron 48 horas después de la incubación fueron de 3,79 y 7,71  $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ , respectivamente. Cuando la evaluación se realizó 72 horas después del período de incubación, los valores de  $LD_{50}$  y  $LD_{90}$  de *Btk* disminuyeron a 2,60 y 6,94  $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ , respectivamente. Asimismo, los valores 96 horas después de aplicado el tratamiento fueron de 1,75 y 6,24  $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ , respectivamente. Esto demuestra que la mortalidad promedio de huevos de la *P. xylostella* por planta fue significativamente afectada por las concentraciones de *Btk* y el período después de la

aplicación (Anova,  $P < 0,05$  %). Por otro lado, la mayor mortalidad de huevos (100 %) ocurrió en plantas tratadas con dosis de 8 y 10  $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$  evaluadas 48 horas después, mientras que la más baja (24 %) fue de plantas tratadas con 2,0  $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$  en el mismo período de incubación (Tukey  $P = 0,05$ ). En cuanto a las larvas en segundo estadio de la *P. xylostella*, los resultados indican que el insecticida *Btk* no alcanzó la mortalidad larvaria del 50 % 24 horas después de la aplicación en todas las concentraciones, mientras que, cuando se evaluaron después de 48 y 72 horas, fue de 6,71 y 3,07  $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ , respectivamente. Asimismo, los valores de  $LD_{90}$  registrados con la aplicación de *Btk* cuando se evaluaron a 72, 96, 120 y 144 horas fueron de 11,02, 10,22, 5,92 y 4,01  $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ , respectivamente. Los autores demuestran con estos resultados que tanto la concentración como el período de incubación después de la aplicación del producto afectaron significativamente la mortalidad media de las larvas por planta (Anova,  $P < 0,05$  %). Ellos señalan que la mayor mortalidad (90,8, 92,3, 93,0 y 93,3 %) ocurrió 144 horas después de la aplicación de soluciones *Btk* en concentraciones de 4,0, 6,0, 8,0 y 10,0  $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ , respectivamente. La menor mortalidad (0.0-26.7 %) se produjo en el tratamiento control durante todo el período de estudio (Tukey  $P = 0,05$ ). Cabe anotar que el nivel de mortalidad que resultó en una protección eficaz de las plantas de repollo requirió una dosis superior a la dosis recomendada de *Btk* (4,0  $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ ). Estos resultados sugieren que el uso de dosis más altas a las recomendadas de *Btk* bajo condiciones de invernadero (semicontroladas) en los programas de control podría reducir lo suficiente las poblaciones de la *P. xylostella* y evitar la necesidad de repetir las aplicaciones en el año siguiente.

Otros autores determinaron que la combinación de dos o más proteínas insecticidas de *Bt* sin resistencia cruzada y con sitios independientes de acción puede ser una estrategia para aumentar la actividad tóxica de *Bt* sobre poblaciones de insectos plaga o para retrasar el desarrollo de poblaciones de insectos resistentes (Head y Greenplate, 2012). En este contexto, Lira, Beringer, Burton, Griffin, Sheets, Yee, Woosley, Worden y Narva (2013) evaluaron la actividad insecticida de la proteína *Cry1Bh1* de la cepa *Bt* PS46L contra larvas resistentes de primer estadio de *P. xylostella*, *Ostrinia nubilalis*, *Heliothis virescens*, *Helicoverpa zea*,

*Diabrotica virgifera* y *Spodoptera frugiperda*. Además, evaluaron la actividad insecticida de la unión de Cry1Bh1-Cry1Ab y Cry1Bh1-Cry1Fa contra larvas de último estadio de *O. nubilalis*. Estos autores demostraron una acción del 100 % de mortalidad en larvas de *P. xylostella* y *H. virescens*, 69 % en larvas de *O. nubilalis*, un efecto insignificante sobre larvas de *H. zea* y *D. virgifera*, y una acción nula sobre larvas de *S. frugiperda*.

La resistencia desarrollada por la *P. xylostella* ha llevado a la investigación a descubrir nuevas proteínas insecticidas activas oralmente, así como a evaluar los efectos combinados de *Bt* y otros organismos con el fin de retrasar y combatir la propagación de este insecto plaga (Nangong, Wang, Song, Hao, Yang y Wang, 2016). Nangong, *et al.* (2016) evaluaron mediante  $CL_{50}$  el daño combinado y separado de las bacterias *Xenorhabdus nematophila* (*Xn* HB310), *Bt* HD-1 y *Bt* HD-73 sobre poblaciones de la *P. xylostella*. Para ello, obtuvieron de la Universidad Agrícola de Hebei, de China, tres cepas de las bacterias: *X. nematophila* (*Xn* HB310), *Bt* HD-1 (que contiene los genes *Cry1Aa*, *Cry1Ab*, *Cry1Ac*, *Cry1Ia*, *Cry2Aa*, *Cry2Ab* y *Vip3Aa*) y *Bt* HD-73 (que contiene el gen *Cry1Ac*). Posteriormente, obtuvieron y criaron en repollo chino larvas de tercer estadio susceptibles (sin ninguna exposición a insecticidas desde 150 generaciones anteriores) de la *P. xylostella* (DBM-S) y larvas de tercer estadio resistentes a *Bt* HD-73 (DBM-R), derivada de DBM-S en laboratorio (CAAS, China). Se realizaron dos bioensayos, en los que se prepararon diversas concentraciones de toxina de *Bt* HD-73 y *Xn* HB310. Para el primero usaron concentraciones de *Bt* HD-73 de 2,5, 5, 10, 20 y 40  $\mu\text{g ml}^{-1}$ , a las cuales agregaron células de *Xn* HB310, mientras que el segundo ensayo tuvo seis concentraciones de *Xn* HB310 ( $2,24 \times 10^6$ ,  $7,47 \times 10^5$ ,  $2,49 \times 10^5$ ,  $8,29 \times 10^4$ ,  $2,77 \times 10^4$  y  $9,22 \times 10^3$  UFC  $\text{ml}^{-1}$ ), y se mezcló cada una con el fluido de la bacteria *Bt* HD-73. Los resultados mostraron que la combinación de las tres bacterias *Bt* HD-73, *Bt* HD-1 y *Xn* HB310 fue tóxica para DBM-S y DBM-R, con  $LC_{50}$  de 0,49  $\mu\text{g.ml}^{-1}$  y 51,66  $\mu\text{g.ml}^{-1}$ , respectivamente. Por otro lado, las  $LC_{50}$  únicamente de *Bt* HD-1 contra DBM-S y DBM-R fueron mucho mayores (13,02  $\mu\text{g.ml}^{-1}$  y 399,77  $\mu\text{g.ml}^{-1}$ , respectivamente). Asimismo, las  $LC_{50}$  de *Xn* HB310 contra DBM-S y DBM-R fueron de  $7,5 \times 10^4$  UFC  $\text{ml}^{-1}$  y  $6,9 \times 10^4$  UFC  $\text{ml}^{-1}$ . Estos datos demostraron que no existe resis-

tencia cruzada entre las bacterias *X. nematophila* y *Bt*. Pero también indican que la mezcla de *Xn* y *Bt* induce significativamente mayor mortalidad en comparación con el tratamiento por separado de la bacteria *X. nematophila*, lo que revela un efecto sinérgico de *Bt* sobre *Xn*. Por otro lado, los resultados también demostraron el efecto sinérgico de cuatro combinaciones de *Bt* HD-73 en *Xn* HB310 en las larvas DBM-S y de cinco combinaciones en larvas DBM-R. Esto es significativo para *Bt* HD-73 en *Xn* HB310, pero no para *Xn* HB310 en *Bt* HD-73, lo que sugiere que es posible utilizar a *Bt* para mejorar la eficacia de *Xn*. Finalmente, proponen que la mejor estrategia para retrasar el desarrollo de resistencia a plagas es emplear múltiples toxinas u otras moléculas nuevas de diferentes organismos con modos alternativos de acción.

El uso de hongos entomopatógenos, insecticidas y la combinación de estos con el *Bt*, también puede ser una opción viable para el control de larvas de la *P. xylostella*. Por ejemplo, Nian, He, Lu y Zhao (2014) realizaron bioensayos para evaluar la interacción entre las conidias aéreas de la cepa *Isaria fumosorosea* SCAU-IFCF01 y las dosis subletales (222,5, 445 y 890  $\mu\text{g.ml}^{-1}$ ) de dos insecticidas: beta-cipermetrina (piretroide sintético) llamado comercialmente Luba-beta-cypermethrin, en formulación de concentrado emulsionable (EC), y *Bt* ssp *kurstaki* (*Btk*) (Hellafram, Grecia) en formulación de polvo humectable (WP) contra larvas de segundo estadio de la *P. xylostella*, mediante la respuesta de tiempo-concentración-mortalidad (TCM). Se realizaron siete bioensayos para evaluar la interacción entre *I. fumosorosea* y dosis subletales de los dos insecticidas contra larvas de la *P. xylostella*. Se hicieron suspensiones a partir de 0,03  $\text{g.L}^{-1}$  de Tween-80 y suspensiones estandarizadas de  $1 \times 10^7$ ,  $1 \times 10^6$ ,  $1 \times 10^5$ ,  $1 \times 10^4$  y  $1 \times 10^3$  conidias  $\text{ml}^{-1}$  para cada bioensayo. Los resultados mostraron que, en todos los ensayos, las muertes de larvas causadas por micosis temprana comenzaron desde el primer o segundo día después de la exposición, y después hubo aumentos en la mortalidad de larvas de la *P. xylostella*. Además, demostraron que entre las seis combinaciones insecticida-hongo, todas las combinaciones de hongos e insecticidas tendieron a acelerar las muertes de la *P. xylostella*. Sin embargo, las diferencias de mortalidad entre los ensayos

tendieron a disminuir a la concentración de hongos más alta ( $1 \times 10^7$  conidios  $\text{ml}^{-1}$ ) hacia el final de la observación. Por otro lado, determinaron que cuanto mayor era la dosis del insecticida que se incluía en las concentraciones del hongo, más se reducían las estimaciones de  $\text{LC}_{50}$ ; esto implica que el aumento de la dosis de insecticida (*Bt* o beta-cipermetrina), combinado con la virulencia fúngica mejorada de *I. fumosorosea* contra la *P. xylostella* se da mejores resultados. Finalmente, los autores señalan que las dosis subletales de la bacteria *Bt* y el insecticida beta-cipermetrina pueden sinergizar la actividad de la *I. fumosorosea* en la *P. xylostella*, y sugieren que la combinación de la *I. fumosorosea* con los dos insecticidas podría ofrecer un enfoque integrado para controlar la *P. xylostella* en la práctica.

Nian, He, Lu y Zhao (2015) determinaron la eficacia de dos formulaciones comerciales de conidias aéreas de la cepa *Isaria fumosorosea* SCAU-IFCF01 (polvo humectante: WP y aceite; OF) combinadas con *Bt* (Yangzhou Luyuan Bio-chemical Co., Ltd) sobre el segundo estadio larval de la *P. xylostella*. Se realizaron seis bioensayos para evaluar la interacción entre dos dosis subletales de *Bt* (223 y 668  $\mu\text{g} \cdot \text{ml}^{-1}$ ) y las dos formulaciones fúngicas. Para la formulación WP se usó una concentración de  $1 \times 10^7$  conidios  $\text{ml}^{-1}$  de polvo humectante de la cepa *I. fumosorosea*; a la vez, se hicieron diluciones en serie de  $10^3$ - $10^6$  conidios  $\text{ml}^{-1}$ . Para la formulación OF, se diluyó el producto a  $1 \times 10^6$ ,  $5 \times 10^5$ ,  $1 \times 10^5$ ,  $5 \times 10^4$  y  $1 \times 10^4$  conidios  $\text{ml}^{-1}$ . Los resultados con ambas formulaciones, polvo humectante (WP) y aceite (OF), mostraron en todos los tratamientos que la aplicación combinada aumentó la mortalidad de las larvas de forma aditiva o sinérgica. Los efectos sinérgicos sobre la mortalidad fueron exhibidos en ambas dosis de *Bt* (223 y 668  $\mu\text{g} \cdot \text{ml}^{-1}$ ), pero se observó principalmente en las aplicaciones combinadas con *Bt* 668  $\mu\text{g} \cdot \text{ml}^{-1}$ . Por otro lado, cabe señalar que las larvas de la *P. xylostella* tratadas con la formulación a base de aceite murieron antes que las larvas tratadas con polvo humectante. Asimismo, las larvas tratadas tanto con la bacteria *Bt* como con la *I. fumosorosea* murieron antes que las larvas infectadas con uno solo de los patógenos. Finalmente, se señala que los tratamientos combinados de *Bt* con alta concentración de las dos formulaciones de la *I. fumosorosea* produjeron

una mayor mortalidad larval (84,4 % y 86,2 %, respectivamente). Asimismo, los investigadores concluyen que la aplicación combinada de la *I. fumosorosea* y el *Bt* es una estrategia alternativa prometedora para el control de la *P. xylostella*.

Algunas especies son controladores biológicos de muy bajo costo de producción en laboratorio, son agresivas o presentan tolerancia a algunos plaguicidas sintéticos (Vacari, Otuka y de Bortoli, 2007), lo que es positivo para emplear tratamientos combinados. *Podisus nigrispinus* es una de ellas, y controla principalmente insectos lepidópteros plagas de cultivos, incluyendo a la *P. xylostella*. Magalhaes, Vacari, Laurentis, de Bortoli y Polanczyk (2014) determinaron mediante seis tratamientos la susceptibilidad de larvas de la *P. xylostella* a dos bioinsecticidas: la cepa HD1 de *Bt* (*Bt* var. *kurstaki*) y el producto comercial Agree® (*Bt* var. *aizawai* CG 91). Además, evaluaron el impacto de estos bioinsecticidas en el consumo de larvas de segundo estadio de la *P. xylostella* en el insecto *P. nigrispinus*. Para ello se aplicó una alícuota de 2 ml de la suspensión de *Bt* HD1 (*Bt* var. *kurstaki*) en una sola concentración ( $3 \times 10^8$  esporas  $\cdot \text{ml}^{-1}$ ). Al mismo tiempo que la evaluación de la cepa HD1, se evaluó el producto comercial Agree® (*Bt* var. *aizawai* CG 91), aplicando la dosis recomendada por el fabricante (0,5 g/333 ml). Los resultados mostraron que tanto la cepa HD1 como el producto Agree causaron una mortalidad del 100 % en las larvas de segundo estadio de la *P. xylostella* después de siete días de exposición. Sin embargo, la mortalidad registrada en el tratamiento de control fue solo del 12 % ( $F_{2, 27} = 1233,77$ ,  $P < 0,0001$ ). Por otro lado, los depredadores mostraron un mayor número de eventos de alimentación en las hojas de col rizada cuando las larvas de la *P. xylostella* también estaban disponibles como presas. Tanto las ninfas como los adultos de *P. nigrispinus* consumieron mayor número de larvas de la *P. xylostella* y se alimentaron menos de hojas de col rizada cuando se asperjaron con la preparación de HD1 o el producto comercial Agree. Estos resultados sugieren una interacción positiva de los productos a base de *Bt* y el depredador *P. nigrispinus* en el control de las larvas de la *P. xylostella*. En conclusión, el uso de bioinsecticidas y la conservación de depredadores beneficiosos de la *P. xylostella*, como

el controlador biológico *P. nigrispinus*, es un enfoque prometedor que tiene valor social y comercial.

La combinación de patógenos de insectos con insecticidas es una solución significativa para el control de plagas que aumenta los efectos de eliminar insectos susceptibles y reduce el uso de patógenos o pesticidas de origen químico (Nathan y Kalaivani, 2006). En ese sentido, la *P. xylostella granulovirus* (P×GV) y el *Bt* son ambos entomopatógenos de la *P. xylostella* (L.). Han, Li, Liu y Xu (2015) midieron mediante  $LC_{50}$  el efecto de la combinación de P×GV y *Bt* en dosis subletales sobre el desarrollo y la mortalidad de larvas de primer estadio hasta pupa de la *P. xylostella* recolectadas en plantaciones de repollo en Yangzhou (China). Así, se aplicaron diferentes concentraciones de *Bt* (de 0,625 a 40 ppm) o GV (de 102 a 109 cuerpos de oclusión. $ml^{-1}$ ). Posteriormente, se midió la mortalidad larval por infección patógena cada 12 horas en cada tratamiento, hasta que todos los sobrevivientes llegaran a pupa. Los resultados demostraron que el tratamiento separado de *Bt* fue eficaz contra larvas de primer estadio de la *P. xylostella*. El valor de  $LC_{50}$  fue de 2,99 ppm. Tras el desarrollo de las larvas, el valor de  $CL_{50}$  fue aumentando: se incrementó a 11,66 ppm en las larvas de tercer estadio (casi cuatro veces mayor que el de las larvas del primer estadio). Por otro lado, los resultados también mostraron resistencia a la infección de P×GV en larvas de la *P. xylostella*, de acuerdo con el aumento del estadio larvario. Se encontró que las dosis de  $LC_{25}$  y  $LC_{50}$  de la P×GV fueron de  $1,32 \times 10^3$  y  $1,10 \times 10^5$  cuerpos de oclusión. $ml^{-1}$  en larvas de primer estadio, y aumentaron significativamente a  $1,60 \times 10^6$  y  $4,75 \times 10^7$  cuerpos de oclusión/ml en las larvas de tercer estadio, respectivamente, lo que significa una mayor mortalidad larvaria en comparación con el tratamiento por separado de *Bt* o P×GV. Además, cuando larvas de la *P. xylostella* consumían tanto *Bt* a la dosis de  $LC_{50}$  como a P×GV a la concentración de  $LC_{25}$ , la mortalidad aumentó significativamente. Los autores concluyeron que la unión de *Bt* y P×GV exhibe un efecto sinérgico sobre la mortalidad de larvas de la *P. xylostella* y controla eficazmente las poblaciones de la misma con tratamiento combinado en dosis bajas. Sugieren también que la combinación de *Bt* y P×GV en dosis subletales podría proporcionar una valiosa manera

de mejorar la eficacia de control de la *P. xylostella* en comparación con el tratamiento por separado de *Bt* o P×GV.

Diferentes entomopatógenos juegan un papel determinante en la reducción de poblaciones de insectos plaga bajo una estrategia óptima que no incluye el uso de insecticidas químicos que causan impacto y generan resistencia. Conte de Oliveira, Abreu de Siqueira, Vargas de Oliveira, Da Silva y Michereff (2011) estudiaron la susceptibilidad de ocho poblaciones brasileñas de la *P. xylostella* a los insecticidas abamectina (*Streptomyces avermitilis*), spinosad (*Saccharopolyspora spinosa*) y deltametrina (piretroide sintético). Después de 48 horas de exposición, encontraron una variación en la susceptibilidad a todos los insecticidas evaluados. Los valores de  $LC_{50}$  variaron desde 0,007 a 0,136  $\mu g.ml^{-1}$  para abamectina, 0.014 a 0.074  $\mu g.ml^{-1}$  para spinosad y 85,19 a 360,10  $\mu g.ml^{-1}$  de deltametrina. Esto sugiere que los bioinsecticidas fueron más eficaces sobre las poblaciones brasileñas de la *P. xylostella* que el insecticida de origen químico. En definitiva, los avances recientes en el campo de la tecnología del ADN recombinante mantienen vigente el interés de lograr sistemas de expresión y cultivos bacterianos cada vez más eficientes para el mercado. Todas estas propuestas buscan superar desventajas existentes en relación con plagas agrícolas y entender la fisiología bacteriana bajo condiciones de producción que permitan incrementar la eficacia en el control del insecto plaga *P. xylostella* y generar nuevas opciones de procesamiento de proteínas recombinantes.

## CONCLUSIONES

Las proteínas cry2Ab3, cry1Na3, cry2Aa1, cry9Ea y Cry1Bh1 pueden ser utilizadas como proteínas de referencia para predecir la actividad insecticida contra la *P. xylostella*, debido a sus sobresalientes niveles de expresión, que se correlaciona positivamente con la actividad biológica que tiene el *Bt* sobre este insecto plaga.

Se pueden usar formulaciones comerciales de *Bt* que contengan las toxinas Cry1Ac, Cry1Ba2 y Cry1Ca4, ya que necesitan bajas dosis de concentración para inducir mayor mortalidad contra el insecto plaga *P. xylostella*.

La combinación de las bacterias *Xenorhabdus nematophila* y *Bt* es una opción viable para el control de larvas de segundo estadio de la *P. xylostella* debido a que induce mayor mortalidad, lo que revela un efecto sinérgico de *Bt* sobre *X. nematophila*, por lo que se recomienda utilizar a *Bt* para mejorar la eficacia de *X. nematophila*.

La combinación de conidias aéreas del hongo entomopatógeno *Isaria fumosorosea* e insecticidas como *Bt* var. *kurstaki* (*Btk*) y beta-cipermetrina acelera la muerte de larvas de segundo estadio de la *P. xylostella*.

La *P. xylostella* es la plaga más frecuente, destructiva e importante para producción agrícola a escala mundial de especies de la familia Brassicaceae; por eso es necesario continuar con las investigaciones basadas en el aislamiento y caracterización de nuevas cepas nativas de *Bt*, así como en la producción de proteínas recombinantes, con el fin de descubrir o mejorar la actividad y eficacia de estas cepas bacterianas contra diferentes plagas agrícolas. En este contexto, y dado que el control biológico de la *P. xylostella* aún depende de insecticidas químicos, también se considera necesario identificar nuevas estrategias, como la combinación de organismos biológicos o patógenos que contribuyan al manejo integrado de esta plaga, entendiendo también la fisiología de cada organismo.

## REFERENCIAS

- Benintende, G., López Meza, J., Cozzi, J. e Ibarra, J. (1999). Novel non-toxic isolates of *Bacillus thuringiensis*. *Lett Appl Microbiol*, 29, 151-155.
- Bravo, A., Gill, S. y Soberón, M. (2007). Mode of action of *Bacillus thuringiensis* Cry and Cyt toxins and their potential for insect control. *Toxicon*, 49(4), 423-435.
- Bravo, A., Gómez, I., Porta, H., García Gómez, B., Rodríguez Almazán, C., Pardo, L. y Soberón, M. (2012). Evolution of *Bacillus thuringiensis* Cry toxins insecticidal activity. *Microb Biotechnol*, 6(1), 17-26.
- Chen, M., Chen, P., Pang, J., Lin, C., Hwang, C. y Tsen, H. (2014). The correlation of the presence and expression levels of Cry genes with the insecticidal activities against *Plutella xylostella* for *Bacillus thuringiensis* strains. *Toxins*, 6, 2453-2470.
- Conte de Oliveira, A., Abreu de Siqueira, H., Vargas de Oliveira, J., da Silva, J. y Michereff, M. (2011). Resistance of Brazilian diamondback moth populations to insecticides. *Sci. Agric*, 68(2), 154-159.
- Corpoíca. (1998). Productos y procesos tecnológicos por macrorregión: contribución de Corpoíca a la investigación y al desarrollo tecnológico agropecuario. Bogotá, D. C, Colombia.
- Crickmore, N., Baum, J., Bravo, A., Lereclus, D., Narva, K., Sampson, K., Schnepf, E., Sun, M. y Zeigler, D. (2016). *Bacillus thuringiensis* toxin nomenclature. Disponible en <http://www.btnomenclature.info/>.
- Dai, R., Su, X., Jin, X., Zhang, J., Guan, X., Chen, C., Shu, C. y Huang, T. (2016). Cloning, expression, purification, and insecticidal activity of a novel Cry1Na3 toxin from *Bacillus thuringiensis* BRC-ZYR2. *Journal of Economic Entomology*, 109(3), 1064-1070.
- Dosdall, L. (2014). Diamondback Moth. Disponible en [http://www1.agric.gov.ab.ca/\\$department/deptdocs.nsf/all/agdex2540/\\$file/622-19.pdf?OpenElement](http://www1.agric.gov.ab.ca/$department/deptdocs.nsf/all/agdex2540/$file/622-19.pdf?OpenElement).
- FAO (2005). Intercountry programme to strengthen IPM training and sustain IPM practices among vegetable farmers in South and Southeast Asia. Vegetable IPM strategy. Country reports for the bi-annual FAO Regional Vegetable IPM Programme Meeting, 25–30 April 2005, Luang Prabang, Laos PDR.
- Furlong, M., Wright, D. y Dosdall, L. (2013). Diamondback moth ecology and management: problems, progress and prospects. *Annual Review of Entomology*, 58, 517-541.

- Gordon, R., Haynes, W., Pang, C. (1973). The genus *Bacillus*. US Department of Agriculture Handbook, 427. Washington DC., USDA, 109-126.
- Han, G., Li, C., Liu, Q. y Xu, J. (2015). Synergistic effect of combining *Plutella xylostella* granulovirus and *Bacillus thuringiensis* at sublethal dosages on controlling of diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae). *Journal of Economic Entomology*, 108(5), 2184-2191.
- Head, G. y Greenplate, J. (2012). The desing and implementation of insect resistance management programs for *Bacillus thuringiensis* crops. *Journal GM Crops & Food*, 3(3), 144-153.
- Hernández Fernández, J. (2016). *Bacillus thuringiensis*: a natural tool in insect pest control. En V. Gupta (ed.). *The Handbook of Microbial Bioresources*. India: CABI Publishers, 121-139.
- Hernández Fernández, J. y López Pazos, S.A. (2011). *Bacillus thuringiensis*: soil microbial insecticide, diversity and their relationship with the entomopathogenic activity. En M. Miransari (ed.), *Soil microbes and environmental health*. Bogotá: Nova Science Publishers, 59-80.
- Hofte, H. y Whiteley, H. (1989). Insecticidal crystal proteins of *Bacillus thuringiensis*. *Microbiological Reviews*, 53(2), 242-255.
- Ibiza, M. (2015). *Bases de la resistencia a preparados bioinsecticidas basados en Bacillus thuringiensis en diferentes especies de insectos* (tesis doctoral). Universidad de Valencia, Valencia, España.
- Ibrahim, M., Griko, N., Junker, M. y Bulla, L. (2010). *Bacillus thuringiensis*: A genomics and proteomics perspective. *Bioengineered Bugs*, 1(1), 31-50.
- Jiang, T., Wu, S., Yang, T., Zhu, C., Gao, C. (2015). Monitoring field populations of *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) for resistance to eight insecticides in China. *Florida Entomologist*, 98(1), 65-73.
- Legwaila, M., Munthaili, D., Kwerepe, B y Obopile, M. (2015). Efficacy of *Bacillus thuringiensis* (var. *kurstaki*) against diamondback moth (*Plutella xylostella* L.) eggs and larvae on cabbage under semi-controlled greenhouse conditions. *International Journal of Insect Science*, 7, 39-45.
- León, G. de (2010). Caracterización del espectro de acción de la toxina CryAbMod, activa contra insectos resistentes, y su comparación con la toxina convencional Cry1Ab de *Bacillus thuringiensis* (tesis doctoral). Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Lira, J., Beringer, J., Burton, S., Griffin, S., Sheets, J., Yee, S., Woosley, A., Worden, S. y Narva, K. (2013). Insecticidal activity of *Bacillus thuringiensis* Cry1Bh1 against *Ostrinia nubialis* (Hubner) (Lepidoptera: Crambidae) and other lepidopteran pest. *Appl Environ Microbiol*, 79(24), 7590-7597.
- López Meza, J. e Ibarra, J. (1996). Characterization of a novel strain of *Bacillus thuringiensis*. *Appl Environ Microbiol*, 62, 1306-1310.
- López Pazos, S. (2011). Actividad biológica de proteínas Cry recombinantes de *Bacillus thuringiensis* sobre larvas de primer instar de *Hypothenemus hampei* Ferrari (Coleoptera: Scolytidae) (tesis doctoral). Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.
- Maagd, M. de, Bravo, A. y Crickmore, N. (2001). How *Bacillus thuringiensis* has evolved specific toxins to colonize the insect world. *Trend Genet*, 17(4), 193-199.
- Magalhaes, G., Vacari, A., Laurentis, V., de Bortoli, D. y Polanczyk (2014). Interactions of *Bacillus thuringiensis* bioinsecticides and the predatory stink bug *Podisus nigrispinus* to control *Plutella xylostella*. *Journal of Applied Entomology*, 1(2), 123-133.
- Muñiz, R., Marín, A., Díaz, L., Gámez, A., Ávila, M., Herrera, R., Dorantes, J. y Gámez, F. (2013). Manejo integrado de la palomilla dorso de diamante *Plutella xylostella* (L.) en la región del bajío, México. Instituto Nacional de

- Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. México: Dzibal Impresos.
- Nangong, Z., Wang, Q., Song, P., Hao, J., Yang, Q. y Wang, L. (2016). Synergism between *Bacillus thuringiensis* and *Xenorhabdus nematophila* against resistant and susceptible *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). *Biocontrol Science and Technology*, 26(10), 1411-1419.
- Nathan, S., y Kalaivani, K. (2006). Combined effects of azadirachtin and nucleopolyhedrovirus (SpltNPV) on *Spodoptera litura* Fabricius (Lepidoptera: Noctuidae) larvae. *Biol. Control*, 39, 96-104.
- Navarro, D. (2010). Manejo integrado de plagas. University of Kentucky. College of Agriculture, Food and Environment. Cooperative Extension Service. Disponible en <http://www2.ca.uky.edu/agcomm/pubs/id/id181/id181.pdf>.
- Nian, X., He, Y., Lu, L. y Zhao, R. (2014). Evaluation of the time–concentration–mortality responses of *Plutella xylostella* larvae to the interaction of *Isaria fumosorosea* with the insecticides beta-cypermethrin and *Bacillus thuringiensis*. *Pest Management Science*, 71(2), 216-224.
- Nian, X., He, Y., Lu, L. y Zhao, R. (2015). Evaluation of alternative *Plutella xylostella* control by two *Isaria fumosorosea* conidia formulations, oil-based formulation and wettable powder combined with *Bacillus thuringiensis*. *Pest Manag Sci*, 71(12), 1675-1684.
- OMS (1996). Recommended classification of pesticides by hazard and guidelines to classification 1996-1997. Organización Mundial de la Salud, IPCS, Ginebra.
- Pan, Z., Xu, L., Zhu, Y., Shi, H., Chen, Z., Chen, M., Chen, Q. y Liu, B. (2014). Characterization of a new *Cry2Ab* gene of *Bacillus thuringiensis* with high insecticidal activity against *Plutella xylostella*. *L. World J Microbiol Biotechnol*, 30(10), 2655-2662.
- Panuwet, P., Siritwong, W., Prapanontol, T., Ryan, B., Fiedler, N., Robson, M y Boyd, D. (2012). Agricultural pesticide management in Thailand: Situation and population health risk. *Environ. Sci. Policy*, 17(1), 72-81.
- Pigott, C. y Ellar, D. (2007). Role of receptors in *Bacillus thuringiensis* crystal toxin activity. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 71(2), 255-281.
- Porcar, M. y Juárez Pérez, V. (2004). Aislamiento y establecimiento de una colección de *Bacillus thuringiensis*. En A. Bravo y J. Cerón (eds.) *Bacillus thuringiensis en el control biológico*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, pp. 69-100.
- Reckha, B., Srinivasan, R., Kumar, A., Bharpoda, T. y Cgatterjee, H. (2011). Susceptibility of diamondback moth and cabbage head caterpillar to *Bacillus thuringiensis* (Bt)  $\delta$ -endotoxins on vegetable brassicas in India. En *The 6<sup>th</sup> International Workshop on Management of the Diamondback Moth and Other Crucifer Insect Pests*. Tailandia: Nakhon Pathom.
- Roh, J., Choi, J., Li, M., Jin, B. y Je, Y. (2007). *Bacillus thuringiensis* as a specific, safe, and effective tool for insect pest control. *J. Microbiol. Biotechnol*, 17, 547-559.
- Rosa, M., Araya, J., Guerrero, M. y Lamborot, L. (1997). Niveles de resistencia de *Plutella xylostella* (L.) a tres insecticidas en varias localidades de la zona central de Chile. *Bol. San. Veg. Plagas*, 23, 571-581.
- Santos, C., Siquiera, H., Da Silva, J. y De Farias, M. (2011). Insecticide resistance in populations of the diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae), from the state of Pernambuco, Brazil. *Neotrop. Entomol*, 40(2), 264-270.
- Sarfraz, M., Dosedall, L. y Keddie, B. (2006). Diamondback moth-plant interactions: Implications for pest management. *Crop Protection*, 25, 625-639.
- Sauka, D. y Benintende, G. (2008). *Bacillus thuringiensis*: generalidades. Un acercamiento

- a su empleo en el biocontrol de insectos lepidópteros que son plagas agrícolas. *Revista Argentina de Microbiología*, 40, 124-140.
- Schnepf, E., Crickmore, N., Van Rie, J., Lereclus, D., Baum, J., Feitelson, J., Zeigler, D. y Dean, D. (1998). *Bacillus thuringiensis* and its postcidal crystal proteins. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 62(3), 775-806.
- Schünemann, N., Knaak, N. y Fiuza, L. (2014). Mode of action and specificity of *Bacillus thuringiensis* toxins in the control of caterpillars and stink bugs in soybean culture. *ISRN microbiology*, 135675. Disponible en <http://doi.org/10.1155/2014/135675>.
- Shelton, A., Sances, F., Hawley, J., Tang, J., Boune, M., Jungers., Collins, H. y Farias, J. (2000). Assessment of insecticide resistance after the outbreak of diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae) in California in 1997. *J. Econ. Entomol*, 93(3), 931-936.
- Soberón, M. y Bravo, A. (2007). Las toxinas Cry de *Bacillus thuringiensis*: modo de acción y consecuencias de su aplicación. *Biotecnología*, 14, 303-314.
- Srinivasan, R., Shelton, A. y Collins, H. (2011). The Sixth International Workshop on Management of the Diamondback Moth and Other Crucifer Insect Pests, 21-25 March 2011, Kasetsart University, Nakhon Pathom, Thailand. AVRDC – The World Vegetable Center, Publication No. 11-755. AVRDC – The World Vegetable Center, Taiwan.
- Swiecicka, I., Bideshi, D. y Federeci, B. (2008). Novel isolate of *Bacillus thuringiensis* subsp. *thuringiensis* that produces a quasicuboidal crystal of Cry1Ab21 toxic to larvae of *Trichoplusia ni*. *Appl. Environ. Microbiol*, 74(4), 923-930.
- Tabashnik, B., Cushing, N. y Johnson, M. (1987). Diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae) resistance to insecticides in Hawaii: Intra-island variation and cross-resistance. *J. Econ. Entomol*, 80, 1091-1099.
- Talekar, N. y Shelton, A. (1993). Biology, ecology, and management of the diamondback moth. *Annu. Rev. Entomol*, 38, 275-301.
- Vacari, A., Otuka, A. y de Bortoli, S. (2007). Desenvolvimento de *Podisus nigrispinus* (Dallas, 1851) (Hemiptera: Pentatomidae) alimentado com lagartas de *Diatraea saccharalis* (Fabricius, 1794) (Lepidoptera: Crambidae). *Arq. Inst. Biol*, 74, 259-265.
- Van Frankenhuyzen, K. (2009). Insecticidal activity of *Bacillus thuringiensis* crystal proteins. *Journal of Invertebrate Pathology*, 101(1), 1-16.
- Wang, X., Khakame, S., Ye, C., Yang, Y. y Wu, Y. (2012). Characterization of field-evolved resistance to chlorantraniliprole in the diamond backmoth, *Plutella xylostella*, from China. *Pest Management Science*, 69(5), 661-665.
- Wang, R. y Wu, Y. (2014). Dominant fitness costs of abamectin resistance in *Plutella xylostella*. *Pest Manag Sci*, 70(12), 1872-1876.
- Wang, Y., Wei, R., Zhu, H. y Zhou, X. (2015). Determination of resistance to seven insecticides in *Plutella xylostella* L. in fields of Northern Hunan. *Agricultural Science & Technology*, 15(3), 553-555.
- Xia, Y., Lu, Y., Shen, J., Gao, X., Qiu, H. y Li, J. (2014). Resistance monitoring for eight insecticides in *Plutella xylostella* in central China. *Crop Protection*, 63, 131-137.
- Zalucki, M., Shabbir, A., Silva, R., Adamson, D., Shu-Sheng, L. y Furlong, J. (2012). Estimating the economic cost of one of the world's major insect pests, *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae): Just how long is a piece of string? *Journal of Economic Entomology*, 105(4), 1115-1129.

# Síntesis *in situ* de nanopartículas de peróxido de zinc sobre fibras de plátano con potencial en la industria textil

## *In situ* synthesis of nanoparticles of zinc peroxide on banana fibers with potential in the textile industry

**María Estefanía Ballesteros García**

Departamento de Ingeniería, Facultad de Ciencias Naturales e Ingeniería, Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Bogotá, D. C., Colombia

**John Ricardo Jr. Durán Romero**

Departamento de Ingeniería, Facultad de Ciencias Naturales e Ingeniería, Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Bogotá, D. C., Colombia

**Juliana Gutiérrez Corrales**

Programa de Diseño y Gestión de la Moda, Facultad de Artes y Diseño, Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Bogotá, D. C., Colombia

**Alis Pataquiva Mateus**

Departamento de Ingeniería, Facultad de Ciencias Naturales e Ingeniería, Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Bogotá, D. C., Colombia

<http://orcid.org/0000-0003-2953-5132>

[alisy.pataquivam@utadeo.edu.co](mailto:alisy.pataquivam@utadeo.edu.co)

**Fecha de recepción: 1 de septiembre de 2017**

**Fecha de aceptación: 5 de octubre de 2017**

**Sugerencia de citación:** Ballesteros García, M. E., Durán Romero, Jr., Gutiérrez Corrales, J. y Pataquiva Mateus, A. (2017). Síntesis *in situ* de nanopartículas de peróxido de zinc sobre fibras de plátano con potencial en la industria textil. *Mutis* 7(2), 23-32, doi: <http://dx.doi.org/10.21789/22561498.1247>

**Editor:** Hernández Fernández, J. [javier.hernandez@utadeo.edu.co](mailto:javier.hernandez@utadeo.edu.co)

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación plantea un desarrollo en torno al manejo de residuos en los cultivos de plátano, siendo una idea sostenible con respecto a la extracción y adquisición de fibras con cualidades innovadoras que posean nanopartículas (NPs) de  $ZnO_2$  como la capacidad antimicrobiana. La finalidad de la investigación fue la de nanoestructurar fibras provenientes de residuos del plátano con NPs de peróxido de zinc como una propuesta sostenible, teniendo en cuenta factores de optimización en procesos para la síntesis de las nanopartículas. Los resultados más relevantes se obtuvieron en la prueba física microscopia electrónica de barrido (SEM), en donde se destaca el tamaño nanométrico de las partículas sintetizadas de 94 nm. Se demostró el factor hidrofóbico de las fibras de plátano por encima de las fibras de algodón.

**Palabras clave:** Nanopartículas, Plátano, Fibras, Residuos agroindustriales, dióxido de zinc



## ABSTRACT

This research proposes a development around the management of residues in banana crops, being a sustainable idea regarding the extraction and acquisition of fibers with innovative qualities that possess ZnO<sub>2</sub> nanoparticles (NPs) as the antimicrobial capacity. The purpose of this research was to nanostructure fibers from banana waste with zinc peroxide NPs as a sustainable proposal, taking into account optimization factors in processes for the synthesis of nanoparticles. The most relevant results were obtained in the physical scanning electron microscopy (SEM), where the nanometer size of the synthesized particles was 94 nm. The hydrophobic factor of the banana fibers was shown above cotton fibers.

**Keywords:** Nanoparticles, Banana, Fibers, Agroindustrial wastes, zinc dioxide

## INTRODUCCIÓN

En Colombia, anualmente se producen 3'379.742 toneladas de plátano, de las cuales se generan 53.250 toneladas de residuos provenientes de la práctica agronómica de corte y mantenimiento de la musa de plátano. La gran mayoría de residuos agroindustriales ocasionan un alto impacto ambiental, ya que la mayoría de estos son incinerados y usados como cenizas aportando material de abono para suelos cafeteros (DANE, 2014).

En busca de nuevas materias primas para la producción de textiles se ha encontrado que a partir de los residuos de plátano se pueden obtener fibras con un alto porcentaje de celulosa y resistencia mecánica (Alarcón, López y Restrepo, 2013). Las fibras de plátano son adecuadas para la implementación de nanopartículas de ZnO<sub>2</sub>, ya que poseen una superficie porosa innata que permiten la conexión entre nanopartículas y fibra, además de esto su estructura nanoporosa contempla una alta densidad de oxígeno que funciona como un reactor que forma y estabiliza las nanopartículas de manera equilibrada durante todo el tejido (Alarcón, López, y Restrepo, 2013)

Hoy en día, la nanoestructuración de fibras a partir de residuos de plátano no se ha desarrollado en ningún campo, debido a la poca investigación sobre la fibra sin dudar de que sus propiedades naturales se rescatan resultados asombrosos de resistencia y capacidad hidrofóbica (Colonia, Martínez, y Solís, 2013).

El objetivo del presente trabajo fue la estructuración de fibras provenientes del beneficio del plátano con nanopartículas de peróxido de zinc (NPs de ZnO<sub>2</sub>) como una propuesta sostenible en el sector textil.

## MATERIALES Y MÉTODOS

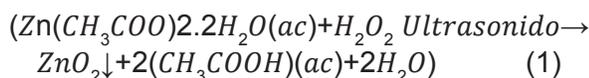
A continuación, se presentarán detalladamente los métodos y materiales que se usaron a lo largo de la experimentación.

### Pretratamiento de la fibra de plátano

Las fibras de plátano fueron obtenidas a partir de un proceso de desfibración, en donde el seudotallo de la musa de plátano fue sometido a un proceso de compresión a través de rodillos. Este proceso retiró la humedad y lentamente se fueron obteniendo las fibras, trabajo que actualmente es llevado a cabo por madres cabeza de familia en el departamento de Caldas, Colombia. Al iniciar el proceso, las fibras se limpiaron de tal forma que se eliminaron residuos vegetales o algún otro tipo de impurezas. Después se sometieron a un baño con agua destilada a 70 °C durante 1 h. Posteriormente, fueron secadas en un horno de temperatura constante de 80°C durante 45 min (Ovalle, Blanco-Tirado, y Combariza, 2013).

## Síntesis de nanopartículas de ZnO<sub>2</sub>

La síntesis de las NPs de ZnO<sub>2</sub> fue basado en el trabajo de Colonia y sus colaboradores (Colonia et al., 2013). Brevemente, se trabajó por medio de la ruta sol-gel, método por el cual el tejido a base de residuos de plátano adquirió de manera más homogénea las NPs de ZnO<sub>2</sub>, para ello se preparó una solución precursora donde inicialmente se usaron 5 mL de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> al 30% con 50 mL de H<sub>2</sub>O y se sonicó la solución por 2 min. Posteriormente, se mezcló 1 g de acetato de zinc di-hidratado en la solución de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> por 5 min con el objetivo de lograr una solución homogénea. La fibra fue sumergida y sonicada entre 30 y 90 min con el objetivo de instituir las NPs ZnO<sub>2</sub>. Seguidamente, se procedió a centrifugar a 4000 rpm durante 30 min obteniendo separar las partículas de gel formadas de coloide preliminar síntesis descrita en el procedimiento se rige por la siguiente reacción redox:



Finalmente, las partículas formadas se lavaron dos veces con agua destilada y se secaron a 80 °C por 12 h.

Tabla 1. Factores influyentes en el diseño experimental

Factor	Nombre	Unidades	Tipo	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar
A	[H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ]	%	Numérico	30	50	40	7,07
B	T adición	Min	Numérico	30	130	80	35,36
C	T Sonic.	min	Numérico	4	6	4,94	0,66

## Diseño experimental y análisis estadístico

El diseño experimental a evaluar fue el Box-Behnken (Design Expert 6.0.8), ya que este permitió evaluar una superficie de respuesta a partir de la evaluación de diferentes mezclas de condiciones fundamentales en la síntesis de las nanopartículas. El software permitió modelar la metodología a lo largo del proyecto para obtener resultados óptimos y mejorados sobre los procesos planteados inicialmente. El modelo de diseño fue de tipo cuadrático en donde este se ajusta a un experimento secuencial y otorga la creación de factores según su importancia en la optimización del proceso. Las variables escogidas para realizar el diseño experimental fueron: A: Concentración de peróxido (%), B: Tiempo posterior a la adición del acetato de zinc di-hidratado (min), C: Tiempo de sonicación (min); con respuesta de diámetro de partícula. Los valores del rango estudiado para cada variable se encuentran en la Tabla 1 y en la Tabla 2 se describen las 17 corridas, que se llevaron a cabo aleatoria, y que arroja el diseño experimental para estas tres variables.

Tabla 2. Diseño Experimental con factores variables. A: Concentración de peróxido (%), B: Tiempo posterior a la adición del acetato de zinc di-hidratado, C: Tiempo de sonicación

Run	Factor 1 A: Ca %	Factor 2 B: TimeS1 min	Factor 3 C: TimeS2 min
1	40	130	4
2	30	80	5
3	30	80	4
4	40	80	5
5	50	130	5
6	40	80	5
7	40	30	6
8	40	30	4
9	40	80	5
10	50	80	4
11	40	80	5
12	50	80	6
13	40	80	5
14	30	130	5
15	50	30	5
16	40	130	6
17	30	30	5

## CARACTERIZACIÓN DE FIBRAS NANOESTRUCTURADAS CON $ZnO_2$

### Microscopía electrónica de barrido

La morfología del material y la determinación de los elementos presentes en la superficie se realizaron por microscopía electrónica de barrido (SEM) y espectroscopía de rayos X por energía dispersiva (EDS) respectivamente. Las fibras deben ser recubiertas con oro para luego visualizar las nanopartículas con el equipo SEM Hitachi TM-1000, en una aceleración de electrones de 5 kV y diferentes magnificaciones que oscilarán entre 100 kX y 200 kX.

### Hidrofobicidad textil

Este método permitió conocer la tensión superficial que tiene la fibra de plátano frente al agua, este consistió en dejar caer una gota de agua y después de 60 s se tomó una fotografía y posteriormente, con ayuda de ImageJ (Schneider, Rasband, y Eliceiri, 2012) se determinó su ángulo de contacto.

### Resistencia de NPs de $ZnO_2$ a la fibra después del lavado

Esta técnica empírica consistió en hacer un lavado prolongado durante 1 h, esto se desarrolló empleando una lavadora Samsung 16 L, las fibras nanoestructuradas se sometieron a un ciclo de lavado normal con una concentración inicial de detergente en polvo comercial para ropa al 40 %. Posteriormente, se llevó al microscopio electrónico de barrido (SEM) y así se logró visualizar la permanencia de NPs de  $ZnO_2$  en las fibras.

### Sensibilidad microbiana sobre fibras textiles

Este método permitió comprobar las propiedades antimicrobianas del textil y se realizó mediante la com-

paración del crecimiento de microorganismos entre el tejido original (tejido de control) y el tejido tratado con las NPs de  $ZnO_2$ . Su objetivo fue determinar la actividad antimicrobiana de los materiales textiles a ser evaluados. Se utilizó un método de difusión en agar y como inóculo caldos de *Escherichia coli*. El agar se dispuso sobre cajas Petri estériles y se sembraron los microorganismos sobre la superficie de las placas de agar. Las fibras tratadas con las NPs  $ZnO_2$  y las fibras de control se presionaron en el centro del cultivo, para adherir los microorganismos al tejido (Rajendra et al., 2010).

Finalmente, las placas se incubaron a 37°C durante 48 horas. La formación de una zona claramente delimitada interrumpió el crecimiento microbiano, esto se creó alrededor de la muestra que indicó la actividad antibacteriana de la fibra tal cual como lo había documentado Herrera (Herrera, 1999) en sus pruebas de sensibilidad antimicrobiana en donde describió que el halo mínimo de resistencia es de 2 a 3 mm.

### Propiedades de tracción de fibras textiles simples

Esta prueba siguió la norma ASTM D3822-07, empleando la máquina universal (Jinan Testing Equipment IE Corporation), en donde se obtuvieron los valores de resistencia y tensión ( $n=5$ ).

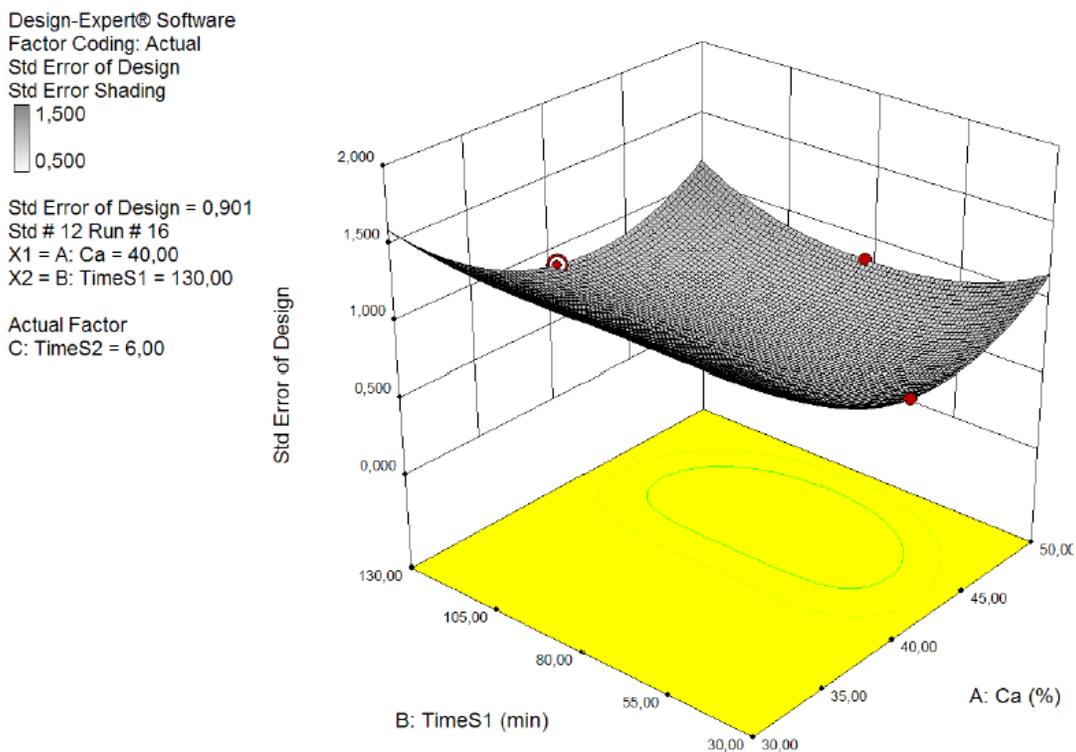
## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de la En respuesta de optimización y manteniendo las características principales del proyecto, se obtuvo por medio de la microscopía electrónica de barrido (SEM) que las muestras que se encuentran en un rango de 0 a 100 nm fueron las muestras 7 y 16 con diámetro de partícula de 94.10 nm y 94.12 nm, respectivamente.

**Tabla 3.** Diseño Experimental Resultados obtenidos de (SEM) después del análisis estadístico de cada una de las muestras nanoestructuradas

Std	Run	Factor 1 A: Ca %	Factor 2 B: TimeS1 min	Factor 3 C: TimeS2 min	Response 1 Tamaño NPs ZnO2 nm (n=50)
10	1	40	130	4	293,408
7	2	30	80	5	145,584
5	3	30	80	4	103,689
15	4	40	80	5	105,561
4	5	50	130	5	115,537
13	6	40	80	5	123,118
11	7	40	30	6	94,0966
9	8	40	30	4	163,698
14	9	40	80	5	139,199
6	10	50	80	4	188,938
17	11	40	80	5	155,935
8	12	50	80	6	193,437
16	13	40	80	5	132,762
3	14	30	130	5	162,243
2	15	50	30	5	175,689
12	16	40	130	6	94,0799
1	17	30	30	5	98,1198

**Figura 1.** Superficie de respuesta para el error estándar de la experimentación



Según los resultados obtenidos del diseño experimental tal cual como se muestra en la Tabla 3, se pueden observar las variaciones en la metodología de Colonia y colaboradores (Colonia et al., 2013), en donde se modificaron las cantidades de reactivos e intervalos de tiempo que se usaron en la síntesis de las nanopartículas de peróxido de zinc. Las mayores afectaciones del tamaño de las nanopartículas, se dieron en cuanto al factor 3 que es el tiempo (min) de sonicación posterior a la mezcla acetato de zinc di-hidratado en la solución de  $H_2O_2$ , resultando ser un factor que garantiza la homogeneidad de la mezcla antes de la sonicación final.

Por otro lado, se determinó que la concentración óptima de  $H_2O_2$  al iniciar el proceso está en un rango del 30 al 40% ya que, los resultados del tamaño de las nanopartículas estuvieron por debajo de los 100 nm. Para la superficie de respuesta que presenta la experimentación, se tiene la Figura 1 en donde se obtuvo una región óptima de concentración de  $H_2O_2$  que se encontró entre 33 - 42% y el tiempo de sonicación final de 35 - 91 min. Para el diseño experimental se obtuvo una zona de probabilidad ascendente en cuanto a estudios evaluados según el tamaño de nanopartículas que relaciona una probabilidad de éxito mayor al 90% en la presente metodología.

Figura 2. Fibras de plátano sin nanoestructurar

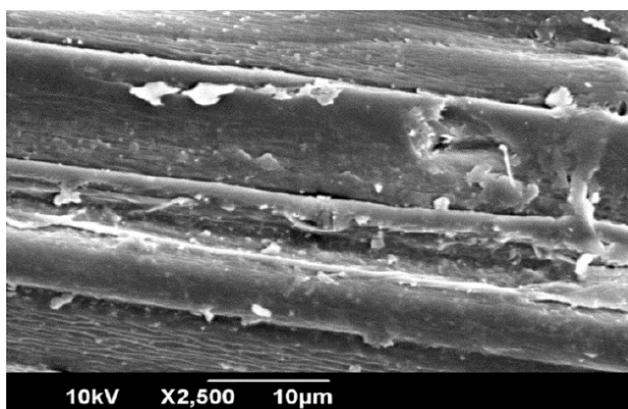
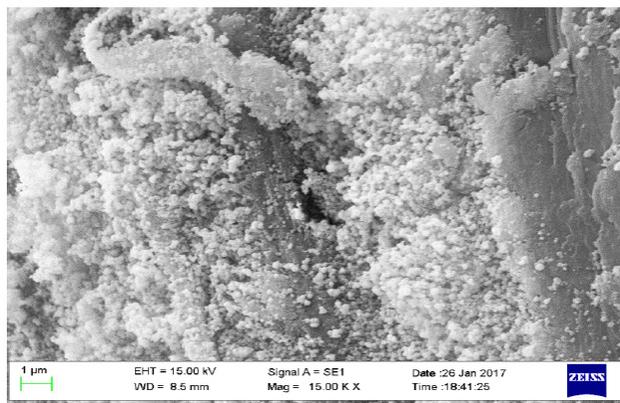


Figura 3. Fibra de plátano con NPs de  $ZnO_2$  (Muestra16)



Se visualizó la fibra de plátano sin nanoestructurar Figura 2 para lograr ver su estructura superficial, en donde se caracterizó por contener un tipo carrileras que por su tamaño poseen una profundidad que facilita la adherencia de las nanopartículas. A partir de los resultados obtenidos para la visualización de NPs de  $ZnO_2$  sobre la fibra (Figura 3), se observó que las nanopartículas recubren en buena medida la superficie de la fibra en forma de agrupaciones de nanopartículas (*clusters*).

Figura 4. Tensión superficial de la fibra de plátano



**Figura 5.** Tensión superficial de la fibra de algodón

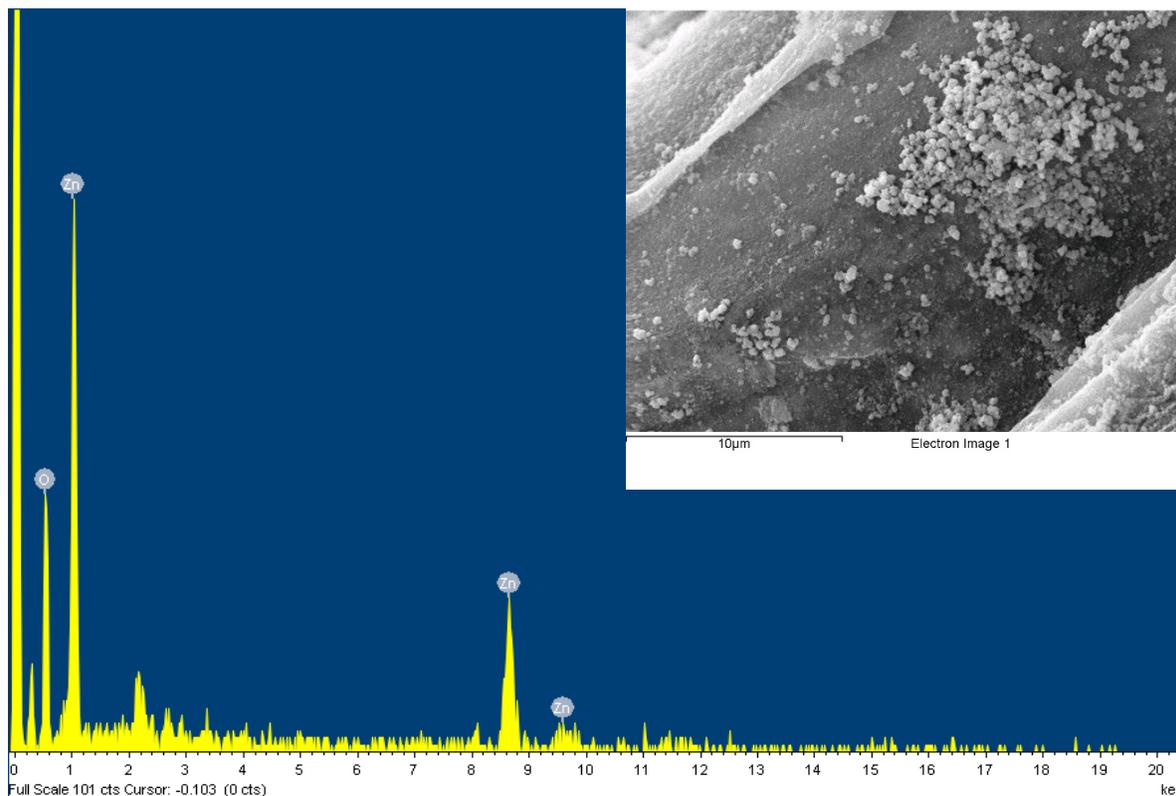


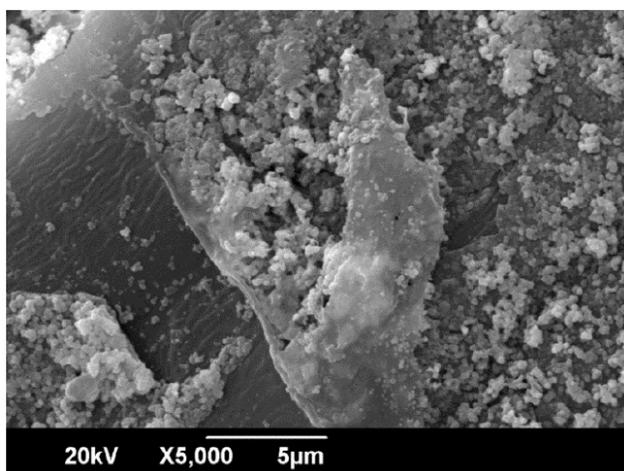
**Tabla 4.** Resultados obtenidos después del análisis estadístico de la fibra de plátano (Fuerzas intermoleculares)

	θ° Aire	Grado de mojabilidad	Interacciones S/L	Interacciones L/L
1	44,878 +/- 0,3°	Baja	Débil	Fuerte
2	39,703 +/- 0,2°	Baja	Débil	Fuerte
3	32,209 +/- 0,4°	Baja	Débil	Fuerte

Para estos resultados se obtuvo que la fibra de plátano pretratada presenta propiedades hidrofóbicas ya que su ángulo de contacto es de 129.7°; mientras que la fibra de algodón no tuvo respuesta alguna frente a la caída de la gota agua y así dejó filtrar el agua, evitando medir su ángulo de contacto. Las fibras de plátano han demostrado tener una superficie auto-limpiante que aparte de generar una respuesta ante cualquier líquido también permite añadir características como resistencia a manchas químicas y a la generación de microorganismos en su estructura debido a que sus interacciones sólido-líquido son débiles, pero líquido-líquido tienden a ser muy fuertes (Felipe y Vicente, 2015).

**Figura 6.** Resultados de EDS de la Muestra 7. Inserto: fibra de plátano nanoestructurada con NPs de ZnO2 (Muestra 7) después del lavado



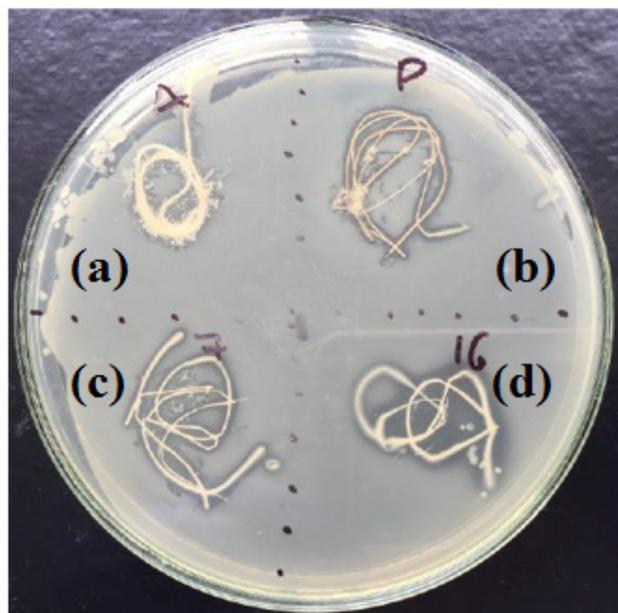
**Figura 7.** Recubrimiento de NPs ZnO<sub>2</sub> después del lavado M16

Luego de lavado con detergente, se observó (Figura 6) una disminución de NPs de ZnO<sub>2</sub> sin embargo en su gran mayoría no tuvieron migración desde de la fibra. Mediante el software ImageJ (Schneider et al., 2012) se determinó la pérdida de NPs de ZnO<sub>2</sub> como 47,58 % para Muestra 7, mediante la comparación entre la fibra nanoestructurada y luego de ser lavada.

Para la Figura 7 y Muestra 16, se observó que las nanopartículas tuvieron un desprendimiento después del lavado pero menor que el en la Figura 8. A pesar de la eficacia del detergente, se puede rescatar que una sección compacta de la fibra mantuvo las nanopartículas en su estructura. Para este caso la pérdida de NPs ZnO<sub>2</sub> fue de un 18,34%, mediante la técnica descrita anteriormente.

En cuanto a los resultados de las propiedades antibacteriales, la Figura 8 muestra que la fibra de algodón presentó menor inhibición a *E. coli*, mientras que la fibra de plátano (fibra pretratada) demuestra propiedades antibacteriales sin necesidad de recubrimiento, confirmando sus propiedades naturales antibacteriales. Dentro de las dos fibras de plátano nanoestructuradas tanto la Muestra 6 como la 7 presentan inhibición de los microorganismos, aunque ésta última presenta la mayor inhibición en comparación a todas las muestras estudiadas. La Tabla 5 resume los resultados medidos de halo de inhibición bacteriana (mm) luego de que las fibras estuvieron en presencia de *E.*

*coli* a una temperatura constante de 37°C durante 48 h. Para esta prueba se comprobó la capacidad antimicrobiana que presenta la fibra de plátano desde su punto inicial (fibra pretratada) y su capacidad ascendente cuando están nanoestructuradas. Por otro lado, se presenta la fibra de algodón que no presentó ningún tipo de frontera para su resistencia y con la nanoestructuración esta propiedad es robustecida.

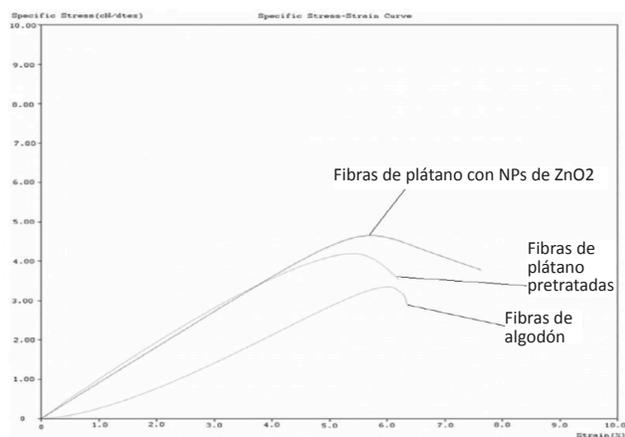
**Figura 8.** Inhibición microbiana de la fibra de algodón empleada como testigo negativo (a), fibra pretratada (b), fibra nanoestructurada Muestra 7 (c), y fibra nanoestructurada Muestra 16 (d)**Tabla 5.** Resultados obtenidos desde el centro de la fibra hasta el halo que produjo su actividad antimicrobiana

Fibra	Promedio de Longitud Halo Fibra-Respuesta (mm)
Algodón	0
Pretratada	2,71 +/- 0,2
Muestra 7	3,85 +/- 0,2
Muestra 16	3,99 +/- 0,2

Finalmente, mediciones de tensión (%) y resistencia (cN/dTex) fueron determinadas para tres muestras: algodón, fibra de plátano sin y con nanoestructuración. La Figura 9 muestra el comportamiento a la tensión por cada una de las fibras escogidas. Es notorio que la

fibra de plátano presenta buenas propiedades mecánicas en comparación con el algodón, lo que justificaría a la fibra de plátano como una buena opción en la industria textil. Por otro lado, la nanoestructuración permite mejorar la resistencia a la tensión que ya presenta la fibra de plátano por sí sola. La Tabla 6, que recoge los resultados numéricos de tensión (%) y resistencia (cn/dtex), muestra que para ambas propiedades, la fibra de plátano nanoestructurada exhibe mejores resultados así: mejora la tensión del algodón y de la fibra de plátano en un 22% y 20,3%, respectivamente; de igual manera, la presencia de las NPs de  $ZnO_2$  sobre la fibra de plátano mejora la resistencia del algodón y de la fibra de plátano en un 33,7% y 12%, respectivamente.

**Figura 9.** Curva de tensión deformación (Stress-Strain) para algodón, fibra de plátano pretratada fibra de plátano nanoestructurada



**Tabla 6.** Resultados de tensión para diferentes tipos de fibras: algodón (testigo), fibra pretratada y nanoestructurada con NPs de  $ZnO_2$

Fibra	Tensión (%)	Resistencia (cn/dtex)
Algodón	6,138 +/- 0,3	3,250 +/- 0,2
Pretratada	6,302 +/- 0,3	4,315 +/- 0,2
Nanoestructurada	7,911 +/- 0,2	4,901 +/- 0,4

## CONCLUSIONES

La investigación tuvo como objetivo nanoestructurar fibras provenientes de residuos del plátano con nanopartículas de peróxido de zinc (NPs de  $ZnO_2$ ) como una propuesta de valor agregado en la industria textil. Sin embargo, también se tuvieron en cuenta factores de optimización en el proceso de la síntesis de las nanopartículas de hidróxido de zinc. El diseño experimental, empleado para conocer las variables de optimización en el proceso de la síntesis de las NPS, permitió conocer la concentración óptima de peróxido de hidrógeno, el tiempo posterior a la adición del acetato de zinc di-hidratado ( $(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O$ ) y el tiempo de sonicación que fueron 30%, 5,56 min y 41,39 min, respectivamente. Los resultados obtenidos por el diseño experimental garantizaron un tamaño de partícula entre 90 nm - 100 nm. Se comprobó la capacidad hidrofóbica de la fibra de plátano nanoestructurada, con un ángulo de contacto promedio de  $129.7^\circ$ . Además, se destaca su capacidad antimicrobiana a *E. coli* y su resistencia a la tensión mejorada con respecto a la fibra de algodón. Por todo lo anterior, la fibra de plátano nanoestructurada es potencialmente una opción en la industria textil, que da valor agregado a residuos agroindustriales provenientes de los cultivos de plátano con actuales problemas de disposición final.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano por el apoyo de los docentes y técnicos del Departamento de Ingeniería y de la Escuela de Diseño, así como su infraestructura.

## REFERENCIAS

- Alarcón, M., López, J., y Restrepo, D. (2013). Caracterización de la Funcionalidad Tecnológica de una Fuente Rica en Fibra Dietaria Obtenida a partir de Cáscara de Plátano. *Revista Facultad Nacional de Agronomía - Medellín*, 66(1), 6959–

6968. Alonso, J. V. (2015). Manual control de calidad en productos textiles y afines. Madrid: Ediciones Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales.
- Amestoy Alonso, J. (2009). *El Planeta Tierra en peligro : calentamiento global, cambio climático, soluciones*. Editorial Club Universitario.
- Canché-Escamilla, G., De los Santos-Hernández, J. M., Andrade-Canto, S., y Gómez-Cruz, R. (2005). Obtención de Celulosa a Partir de los Desechos Agrícolas del Banano. *Información Tecnológica*, 16(1), 83–88, <https://doi.org/10.4067/S0718-07642005000100012>
- Colonia, R., Martínez, V., y Solís, J. (2013). Síntesis de nanopartículas de ZnO<sub>2</sub> empleando ultrasonido: caracterización estructural y morfológica para aplicaciones bactericidas. *Revista de La Sociedad*, (79)2, 126-135, disponible en [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1810-634X2013000200005](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2013000200005)
- Córdoba Padilla, M. (2011). *Formulación y evaluación de proyectos*. Ecoe Ediciones.
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística - DANE (2014). Boletín mensual SIPSA – Agosto 2014. Disponible en <http://www.dane.gov.co/index.php/52-espanol/noticias/noticias/3093-boletin-mensual-sipsa-agosto-de-2014>
- Felipe, A., y Vicente, J. (2015). Manual Control de calidad en productos textiles y afines. Ediciones Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales, España.
- Herrera, M. L. (1999). Pruebas de sensibilidad antimicrobiana Metodología de laboratorio. *Revista Médica Del Hospital Nacional de Niños Dr. Carlos Sáenz Herrera*, 34, 33–41.
- León, G., González, M., Mercado, C., Eduardo, S., y Terner, G. (2012). *Metodología para determinar la factibilidad de proyectos inmobiliarios en el municipio de sabaneta para estratos 4 y 5*. Universidad de Medellín.
- Ovalle, S. A., Blanco-Tirado, C., y Combariza, M. Y. (2013). Síntesis *in situ* de nanopartículas de plata sobre fibras de fique. *Revista Colombiana de Química*, 42(1), 1-27.
- Quesada k, Alvarado P, y Sibaja R, V. J. (2005). Utilización de las fibras del rastrojo de piña (Ananas cosmusus, variedad champaka) como material de refuerzo en resinas de poliéster. *Revista Iberoamericana de Polimeros*, 6(2), 22.
- Rajendra, R., Balakumar, C., Ahammed, H., Jayakumar, S., Vaideki, K., y Rajesh, E. (2010). Use of zinc oxide nano particles for production of antimicrobial textiles. *International Journal of Engineering, Science and Technology*, 2(1), <https://doi.org/10.4314/ijest.v2i1.59113>
- Schneider, C. A., Rasband, W. S., y Eliceiri, K. W. (2012). NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis. *Nature Methods*, 9(7), 671–5.

# Obtención de catalizadores ácidos a partir de la cascarilla de arroz

## Acid catalysts from rice husk ash

**Jeisson Javier Loaiza Malaver**

Departamento de Ciencias Básicas, Facultad de Ciencias Naturales e Ingeniería, Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Bogotá, D. C., Colombia  
<http://orcid.org/0000-0003-0974-0593>

**Ana María Campos Rosario**

Departamento de Ciencias Básicas, Facultad de Ciencias Naturales e Ingeniería, Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Bogotá, D. C., Colombia  
<http://orcid.org/0000-0003-0360-956X>  
[ana.campos@utadeo.edu.co](mailto:ana.campos@utadeo.edu.co)

**Fecha de recepción: 26 de julio de 2017**

**Fecha de aceptación: 19 de octubre de 2017**

**Sugerencia de citación:** Loaiza Malaver, J. J. y Campos Rosario, A. M. (2017). Obtención de catalizadores ácidos a partir de la cascarilla de arroz. *Mutis*, 7(2), 33-43, doi: <http://dx.doi.org/10.21789/22561498.1253>

**Editor:** Hernández Fernández, J. [javier.hernandez@utadeo.edu.co](mailto:javier.hernandez@utadeo.edu.co)

## RESUMEN

En este artículo se presenta la obtención de sílice a partir de la cascarilla de arroz, y su aplicación en la síntesis de catalizadores ácidos sólidos. Catalizadores de zirconio sulfatado soportado sobre sílice fueron obtenidos mediante la vía sol-gel usando una sulfatación *in situ*. Los parámetros considerados en esta investigación fueron la relación molar de Si/Zr y el uso de ultrasonido durante el tiempo de envejecimiento.

El precursor de silicio fue obtenido en forma de silicato de sodio por medio de extracción alcalina de las cenizas de la cascarilla de arroz. Posteriormente, el zirconio fue adicionado en la matriz de sílice mediante la técnica sol-gel. Finalmente, la sulfatación fue llevada a cabo por la adición adecuada de ácido sulfúrico en solución.

Los catalizadores fueron caracterizados por difracción de rayos x, adsorción-desorción de nitrógeno y espectroscopia de infrarrojo. Los resultados indican que los catalizadores tienen un área superficial BET considerable y estructura cristalina.

La actividad catalítica fue evaluada en la reacción de deshidratación de xilosa usando agua como solvente. Los catalizadores mostraron un potencial catalítico en la producción de furfural.

**Palabras clave:** cascarilla de arroz, biomasa, sílice, furfural, zirconio sulfatado, catalizador.



## ABSTRACT

In this paper, is reported the development and utilization of silica from rice husk (RH) for the synthesis of solid acid catalysts. Sulfated zirconia catalysts were prepared by the sol-gel reaction, using an in situ sulfation. The parameter considered in this work was the Si/Zr molar ratio and the ultra sonication during the gelation time.

Silicon precursor was obtained as sodium silicate by alkaline extraction from rice husk ash (RHA) and zirconium were added into the silica matrix via sol-gel technique. Subsequently, the sulfation was done by adding suitable amounts of acid solutions. The catalyst was characterized by X-ray diffraction, nitrogen adsorption-desorption, and infrared spectroscopy. The results indicated that the catalyst have high BET surface area and crystalline structure.

The acid catalysts activity was evaluated in the xylose dehydration reaction using water as solvent. The catalyst exhibited a catalytic potential in the furfural production.

**Key words:** Rice husk, biomass, silica, furfural, catalyst, sulfated zirconia.

## INTRODUCCIÓN

En Colombia, uno de los residuos agroindustriales más representativos es el asociado con el cultivo de arroz. Con un área de siembra de aproximadamente 490 000 hectáreas y con una producción de 5.8 toneladas/hectárea, se calcula una generación de 580 000 toneladas/año de cascarilla de arroz (CA), especialmente en los departamentos de Casanare, Huila, Meta y Tolima (Federación Nacional de Arroceros, 2005). El impacto ambiental proviene de la incineración de esta biomasa, debido a que su comercialización no es significativa.

La CA es un material lignocelulósico compuesto principalmente por celulosa (50 %), lignina (30 %) y otros compuestos orgánicos (20 %), que tienen un gran potencial industrial y tecnológico, dado que son la materia prima de múltiples productos químicos de interés comercial; sin embargo, estas características no son explotadas actualmente (Quiceno Villada y Gutiérrez Mosquera, 2010; Sierra Aguilar, 2009).

De acuerdo con Fernandes *et al.* (2016), la fracción inorgánica de la CA contiene entre el 95 y el 98 % en peso de sílice amorfa (Fuel, 165 [2016] 351-359), que puede ser extraída por pirolisis a elevadas temperaturas en forma de cenizas de CA, o directamente del residuo agroindustrial en forma de silicatos de sodio, utilizando un método de extracción por solvente. Aunque el

uso de silicatos de sodio utilizado en extracción con solvente a partir de la cascarilla de arroz es aún limitado, se han realizado estudios que demuestran la posibilidad de usarlo con diferentes propósitos (Adam, Appaturi e Iqbal, 2012).

La sílice ( $\text{SiO}_2$ ) es el óxido natural más abundante en la tierra, y a pesar de su gran cantidad, es obtenido por rutas sintéticas para su comercialización en diversas aplicaciones tecnológicas. La sílice puede existir de varias formas, cada una con sus propias características estructurales, así como con sus propias propiedades físicas y químicas: puede existir en forma de gel, sólido cristalino o material amorfo.

### Catalizadores para la conversión de biomasa

El uso de catalizadores heterogéneos selectivos, así como la mejora de los sistemas de reacción, han surgido exponencialmente en la industria de la biorrefinería como una alternativa para la fabricación de diferentes productos químicos de interés comercial a partir de la biomasa, pues su facilidad de separación durante la reacción los hace más eficientes en comparación con los procesos homogéneos (FitzPatrick, Champagne, Cunningham y Whitney, 2010).

Los numerosos reportes relacionados con dichos desarrollos coinciden en que indudablemente estos deben fundamentarse en procesos catalíticos heterogéneos, dado que las nuevas tecnologías requieren cumplir con

los principios de la química verde y la producción sostenible. Sin embargo, los principales desafíos para la conversión de biomasa incluyen la disminución de la temperatura de reacción, el diseño de sistemas catalíticos en fase líquida, la obtención de catalizadores activos, selectivos y estables, y además, que puedan ser regenerados y reutilizados.

Una extensa variedad de catalizadores sólidos ácidos ha sido estudiada en la deshidratación de las pentosas y hexosas, principales componentes de los polímeros presentes en la biomasa, para la producción de furfural (FUR) e hidroximetilfurfural (HMF). Estos incluyen zeolitas, heteropoliácidos, zirconias sulfatadas y resinas de intercambio iónico, entre otros elementos, que exhiben una elevada actividad, selectividad y estabilidad, facilitan la separación de los productos y adicionalmente se clasifican en el grupo de *catalizadores superácidos*, debido a que la fuerza ácida que pueden alcanzar es comparable a la de los ácidos minerales que son usados para este tipo de reacción (Agirrezábal, Gandarias y Arias, 2014).

Los más estudiados son las zeolitas, que son aluminosilicatos con una estructura altamente cristalina y canales con poros muy definidos que contienen los sitios activos. Sin embargo, el uso de las zeolitas en procesos catalíticos no puede ser aplicado a todos los tipos de moléculas, principalmente por limitaciones debidas al tamaño de poro.

Enfocados en las limitaciones difusionales, se inició el desarrollo de los sólidos mesoporosos con la posibilidad de modular la selectividad y la porosidad de los catalizadores. Entre esos sólidos se encuentran los óxidos metálicos mixtos, que resultan actualmente muy importantes en el campo de la catálisis, debido a que ofrecen un amplio espectro de acidez/basicidad superficial, actividad catalítica y estabilidad térmica; estos óxidos tienen una mayor aplicación, en comparación con los óxidos puros. Este tipo de óxidos se compone generalmente de metales de transición con capacidad semiconductor que poseen propiedades redox relacionadas con sus características ácido-base.

Respecto a los catalizadores ácidos, los metales más usados para modular la acidez son el aluminio, zir-

conio, molibdeno, tungsteno y estaño. Asimismo, se ha encontrado en la literatura que la adición de aniones, tales como los iones de sulfato o fosfato, generan catalizadores con acidez elevada o superacidez. Este tipo de sólidos resulta muy apropiado para realizar reacciones de transesterificación y esterificación (Agirrezábal *et al.*, 2014; Morales *et al.*, 2012).

Inspirados en las propiedades físico-químicas de la biomasa lignocelulósica, y adicionalmente enfocados en la reducción de costos y en el aprovechamiento de este material, múltiples diseños para la obtención de catalizadores a partir de la biomasa indican el potencial de esta línea de investigación en el marco de la biorrefinería (Chen *et al.*, 2013).

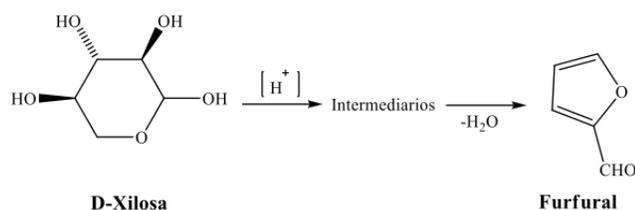
En algunos catalizadores sintetizados a partir de la cascarilla de arroz, por ejemplo, se han utilizado metales de transición soportados para diferentes tipos de reacciones. Una muestra es el uso de cromo incorporado en sílice obtenida vía sol-gel en la oxidación de ciclohexano, ciclohexeno y ciclohexanol, con conversiones próximas al 100 %. El molibdeno y el tungsteno soportado en sílice extraída de la CA también han sido probados en la oxidación de estireno usando peróxido de hidrógeno como oxidante, así como en la obtención de benzaldehído (Bza), para lograr conversiones de 82.2 % y selectividad para el Bza del 82.8 %. El hierro es considerado un metal de transición de bajo precio y que participa como catalizador en muchas reacciones orgánicas; por ello su aplicación soportado sobre sílice hace que tenga un gran campo de investigación, como en la oxidación del fenol o en reacciones de Friedel-Crafts. Asimismo, se utilizan el galio, el aluminio, indio para la benzilación de xilenos y bencenos, en reacciones fotocatalíticas usando nanotubos de sílice-estaño, o compuestos bimetálicos de cobre y cerio para la oxidación de benceno, así como los catalizadores híbridos orgánicos-inorgánicos, con ácido sulfanílico entre otras aplicaciones (Adam *et al.*, 2012).

### **Catalizadores ácidos y producción de furfural (FUR)**

FUR es una importante materia prima en la industria química, producida exclusivamente a partir de biomasa rica en pentosas en presencia de un ácido mineral

fuerte. No hay una ruta sintética para la obtención de este aldehído (figura 1). En tal sentido, el desarrollo de catalizadores sólidos ácidos orientados a la prevención de los inconvenientes económicos y ambientales asociados a la catálisis homogénea, tales como la extrema corrosión, la alta toxicidad y una excesiva disposición de residuos, se ha estado implementando en las últimas décadas. El objetivo es obtener este producto químico mediante rutas sintéticas y con un menor impacto ambiental, pues dicho aldehído tiene grandes aplicaciones en el ámbito industrial, además de ser uno de los principales solventes empleados en la fabricación de una amplia variedad de productos químicos en diferentes ramas (Molina, Granados, Gervasini y Carniti, 2015).

**Figura 1.** Mecanismo de reacción sugerido para formación de FUR a partir de pentosas bajo condiciones ácidas



La investigación actual en la producción de FUR está dividida en dos áreas: optimización del proceso y nuevos sistemas catalíticos. La gran cantidad y variedad de publicaciones y patentes en el campo confirman el elevado valor y potencial de este compuesto (Agirrezábal *et al.*, 2014)

Algunos sistemas usados en la producción de furfural incluyen el uso de catalizadores con baja porosidad, entre ellos  $CrCl_3$  (ácido Lewis) combinado con HCl (ácido Bronsted), con un rendimiento del 29 al 39 % en agua; los sólidos microporosos, como las zeolitas, que pueden tener rendimientos entre el 20 y el 90 %, y en las cuales la relación Si/Al y la porosidad son los factores determinantes en el comportamiento catalítico, y los sólidos mesoporosos, que han demostrado también una alta versatilidad en esta reacción, entre ellos los silicatos modificados MCM, o las capas

de sílice mesoporosa (MSHS mesoporous silica shells), y más recientemente los óxidos metálicos mixtos soportados en sílice o en carbón activado, que pueden tener rendimientos entre el 10 y el 75 % (Agirrezábal *et al.*, 2014).

En el marco descrito, con el fin de explorar productos de valor agregado obtenidos a partir de la cascarilla de arroz, en este artículo se presenta la obtención de materiales sólidos con actividad catalítica y su evaluación en la conversión de otro producto derivado de la biomasa, la xilosa. El desarrollo de este tipo de investigaciones resulta de gran importancia, puesto que además de crear conciencia ambiental sobre la producción de materiales, que tradicionalmente se obtienen por procesos ajenos a la química verde, se están generando productos de valor agregado, como el furfural, mediante procesos catalíticos más limpios, lo que conduce a la obtención de catalizadores innovadores; de este modo se logra un aprovechamiento más eficiente de los residuos agroindustriales.

## METODOLOGÍA

### Obtención de catalizadores

Cincuenta gramos de CA provenientes de la ciudad de El Espinal (molino de arroz Diana, Tolima, Colombia) fueron lavados con 500 ml de HCl al 1 % durante 30 minutos a 90 °C, con el fin de retirar posibles impurezas que pudieran afectar la sílice. A continuación se efectuó una serie de lavados con agua destilada para neutralizar la solución. Después de separar la CA, esta fue sometida a un proceso de calcinación a 700 °C por una hora, del cual se obtuvieron las cenizas que contenían la sílice y material carbonáceo.

Para la extracción de sílice de las cenizas se utilizó NaOH 1.5 M, con una relación peso/volumen de 7.5 ml/g de ceniza; la solución permaneció en reacción a 90 °C por una hora, con el objetivo de obtener los silicatos de sodio. Al finalizar la reacción se realizaron centrifugación y posterior filtración para separar la solución de interés del material carbonáceo, que es utilizado en procesos alternos de síntesis.

La obtención de catalizadores se llevó a cabo mediante la incorporación de zirconio a la sílice extraída de la CA, a partir de la adición de soluciones de cloruro de zirconilo a los silicatos de sodio. La concentración de Zr fue ajustada en porcentajes entre el 5 y el 50 % en peso. Posteriormente, la adición de soluciones diluidas de  $H_2SO_4$  hasta un pH de cuatro permitió la formación de geles, que fueron envejecidos a 50 °C, con el objetivo de evaluar las características superficiales de los sólidos; el tiempo de envejecimiento fue variable, entre treinta minutos y cuatro horas, con la aplicación de ultrasonido (us) en algunos catalizadores. Posteriormente fueron lavados y secados a 60 °C durante 24 horas. Finalmente, los materiales fueron calcinados a 600 °C por tres horas y tamizados (150  $\mu$ m). En la tabla 1 se presenta la nomenclatura relacionada con las condiciones de síntesis de los sólidos.

**Tabla 1.** Nomenclatura y condiciones de síntesis de los sólidos

Material	Zr (wt %)	Tiempo de envejecimiento (h)	Tiempo en baño de ultrasonido (us)
Sílice	0	2	—
Zr-5/2	5	2	—
Zr-5/4	5	4	—
Zr-5/us	5		30 min
Zr-10/2	10	2	—
Zr-10/4	10	4	—
Zr-10/us	10		30 min
Zr-50/2	50	2	—
Zr-50/4	50	4	—

## Caracterización del catalizador

*Espectroscopia por infrarrojo.* Para conocer el tipo y estimar la proporción de los grupos funcionales

presentes en los sólidos, los espectros en la región del IR fueron tomados en espectrofotómetro infrarrojo con transformada de Fourier, FTIR argilent Cary 630.

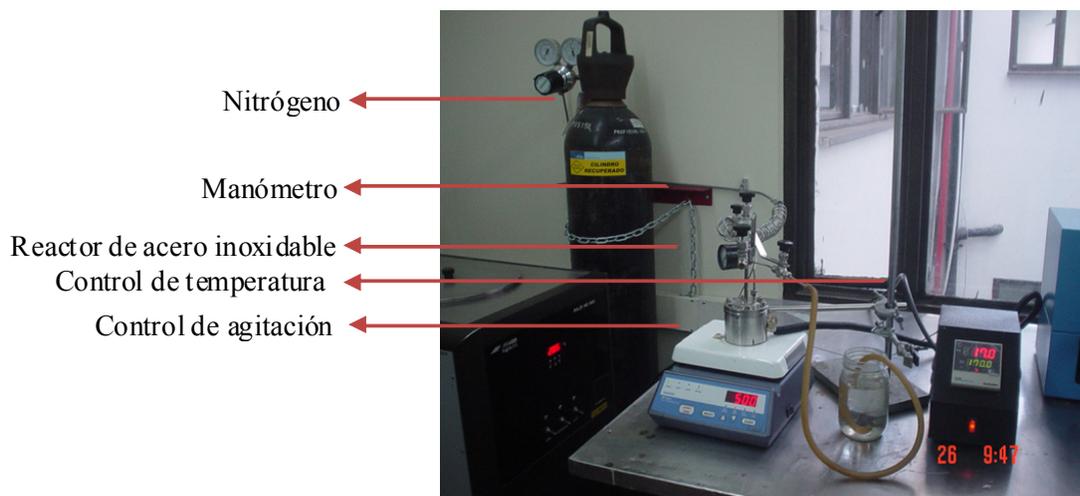
*Difracción de rayos x (DRX).* La presencia y/o modificación de fases cristalinas de los materiales se analizó por difracción de rayos x. Los difractogramas fueron realizados en un difractómetro Philips PW1710 (radiación  $K\alpha$  de Cu,  $\lambda=1.54056\text{\AA}$ ). Los difractogramas se tomaron a temperatura ambiente en los sólidos en polvo, utilizando una velocidad de 0.02  $\Theta$  y tiempo de paso de dos segundos.

*Isotermas de adsorción.* Con el objetivo de caracterizar la superficie de los sólidos, determinar su área superficial y su porosidad, las isotermas de adsorción-desorción de nitrógeno a 77 K fueron registradas en un equipo TriStar 3000 Micrometrics Surface Área and Porosity Analyser. Previamente a la realización del análisis las muestras calcinadas fueron desgasificadas durante cuatro horas a 200 °C bajo una atmósfera de nitrógeno. En la determinación del área superficial se empleó la metodología BET, y las distribuciones del tamaño de poro fueron elaboradas de acuerdo con el método BJH (Condon, 2006).

## Actividad catalítica

La deshidratación de xilosa fue llevada a cabo en un reactor de acero inoxidable de 50 ml con temperatura controlada y con agitación magnética a 500 rpm (figura 2). En el reactor se adicionaron 0.75 g de D-xilosa, 0.5 g de catalizador, y 25 ml de agua desionizada (Cortés, Piñeros y Campos, 2013). El tiempo de inicio de reacción se registró después de que el sistema alcanzara la temperatura deseada de estudio. Después de dos horas de reacción, la muestra fue extraída y centrifugada. El producto fue analizado por HPLC usando una columna cromatográfica RPC-18 150 4.6 mm. La fase móvil se preparó a partir de la mezcla de 40 ml de metanol y 1 ml de ácido acético glacial y se completó el volumen a 1 L con agua destilada. La columna se mantuvo a 20 °C, y el producto fue detectado por UV a 270 nm. El volumen de inyección fue de 20  $\mu$ L.

Figura 2. Reactor de alta presión con atmósfera de nitrógeno



La conversión de D-xilosa y la selectividad a furfural fueron estimadas a partir de las ecuaciones 1 y 2, respectivamente. Asimismo, las condiciones óptimas de reacción fueron determinadas en trabajos previos (Cortés *et al.*, 2013).

$$\text{Conversión} = \frac{C_{\text{xilosa, inicial}} - C_{\text{xilosa, final}}}{C_{\text{xilosa, inicial}}}$$

$$\text{Selectividad} = \frac{C_{\text{furfural}}}{C_{\text{xilosa, inicial}} - C_{\text{xilosa, final}}}$$

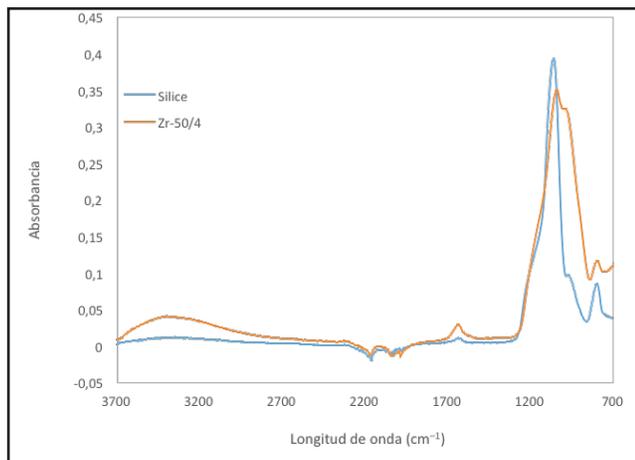
## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Caracterización de los materiales

En la figura 3 se presenta una comparación de los espectros IR de la sílice pura y de un catalizador como ejemplo del comportamiento general observado. Las principales diferencias entre dichos sólidos radica en el cambio de algunas bandas características para cada sólido, principalmente la banda que se encuentra localizada en la región entre 1200 y 800  $\text{cm}^{-1}$ , en la cual se observa una variación en la altura del pico. Asimismo, el aumento en la absorción de la región de 3600 a 2700  $\text{cm}^{-1}$ , lo cual indica la presencia de nuevos grupos hidroxilo (OH), sitios tipo Bronsted, y en la región de 1900 a 1500  $\text{cm}^{-1}$ , la posible existencia de grupos

ácidos tipo Lewis, ambos relacionados con la presencia de grupos ácidos en los catalizadores, importantes en la deshidratación de xilosa.

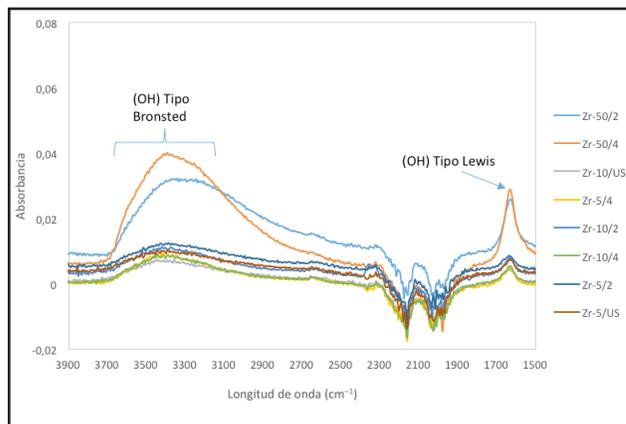
El ensanchamiento de la banda entre 1200 y 800  $\text{cm}^{-1}$  está relacionado con la presencia de Zr en las redes de silicio, lo cual afecta la intensidad de esta señal. Por otro lado, podría estar relacionado también con la presencia de quelato formado por el anión sulfato y el zirconio, dado que en la literatura este grupo exhibe señales en 1059, 1129 y 1231  $\text{cm}^{-1}$ , debidas a los enlaces S = O y S-O (Heshmatpour y Aghakhanpour, 2012).

**Figura 3.** Espectro de infrarrojo catalizador Zr-50/4 y de sílice

En las figuras 4 y 5 se presentan los espectros IR de los diferentes catalizadores en la región comprendida entre 650 y 4000  $\text{cm}^{-1}$ . En la figura 4, el aumento en la absorción de la región de 3600 a 2700  $\text{cm}^{-1}$ , y en la región de 1900 a 1500  $\text{cm}^{-1}$  corresponde a las frecuencias de estiramiento y flexión de los grupos hidroxilo. Dado que la temperatura de calcinación fue de 600  $^{\circ}\text{C}$ , estas vibraciones están relacionadas con nuevos grupos ácidos OH asociados a los cationes de Si y Zr.

En la figura 5 se evidencia, para los catalizadores de sílice y zirconio, que las señales predominantes se encuentran en un rango de longitud de onda entre 1300 y 750  $\text{cm}^{-1}$ . Entre las absorciones asignadas para el soporte catalítico de sílice se encuentran las señales de 800  $\text{cm}^{-1}$ , que corresponden a la deformación del enlace Si-O-Si, la señal 1000-1200  $\text{cm}^{-1}$ , que hace referencia a la vibración de estiramiento de los enlaces Si-O-Si; de igual forma, pueden coexistir con la vibración tipo estiramiento asimétrico de los enlaces Si-O-Si, entre las mismas señales. Es importante resaltar que las anteriores absorciones asignadas al soporte catalítico se vuelven más anchas y menos definidas para los catalizadores con respecto al blanco de sílice mostrado en la figura 3, lo cual podría indicar la presencia de Zr en la superficie de sílice por medio de una sustitución isomorfa. Ward y colaboradores muestran, por ejemplo, que sílices con una adición de zirconio exhiben una señal entre 1000 y 920  $\text{cm}^{-1}$ , con la aparición de un hombro que es atribuido a una sección

de enlaces Si-O-Zr o Zr-O-Zr (Ward, Pujari, Costanzo, Masters y Maschmeyer, 2011). En este caso, técnicas de caracterización complementarias deben realizarse para probar esta hipótesis.

**Figura 4.** Espectro infrarrojo de los catalizadores sílice-zirconio ( $\lambda = 4000 - 1500 \text{ cm}^{-1}$ )

En la figura 6 se presenta el difractograma de rayos x para la sílice pura. La banda amplia centrada en  $22,5^{\circ}$  es generalmente atribuido a la forma desordenada cristobalita. Sin embargo, las señales agudas en  $2\theta = 32^{\circ}, 45^{\circ}, 56^{\circ}, 66^{\circ}, 75^{\circ}$  y  $84^{\circ}$  indican un elevado orden y cristalinidad en la sílice obtenida (Jiménez Morales *et al.*, 2010).

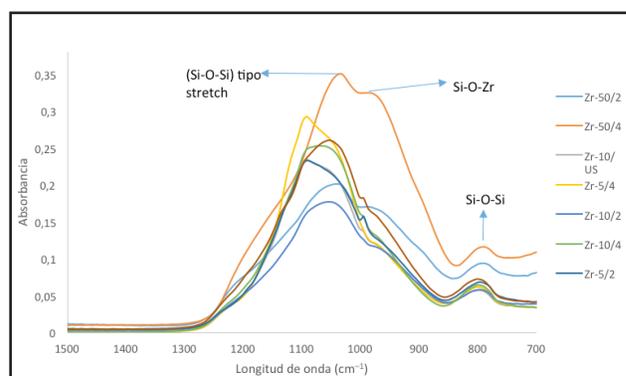
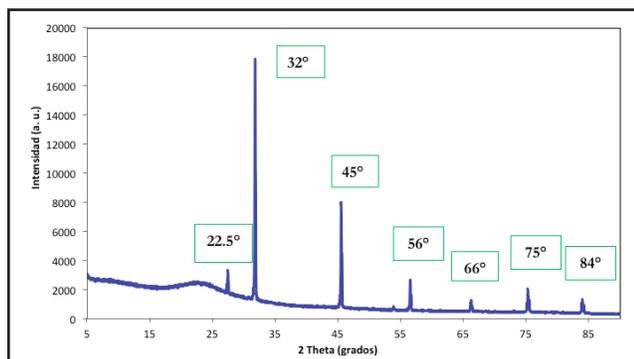
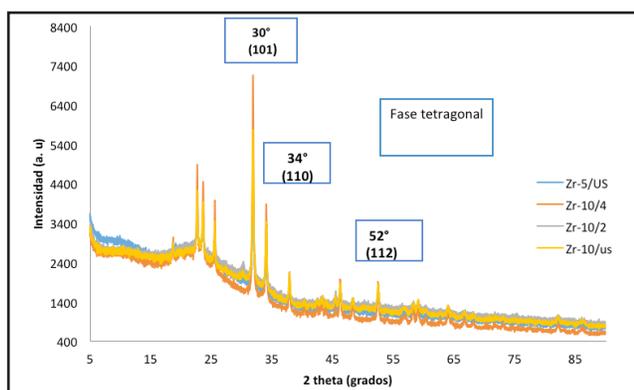
**Figura 5.** Espectro infrarrojo de los catalizadores sílice-zirconio ( $\lambda = 1500 - 700 \text{ cm}^{-1}$ )

Figura 6. Difractograma DRX, soporte catalítico sílice



En la figura 7 se representan los difractogramas de rayos x para los diferentes catalizadores sintetizados de sílice-zirconio. Allí se observa que también son sólidos cristalinos. De acuerdo con la literatura, la principal fase cristalina obtenida fue la tetragonal del óxido de zirconio, con señales en  $2\theta$  de  $30^\circ$ ,  $34.4^\circ$ ,  $52^\circ$ . Sin embargo, las señales alrededor de los  $25^\circ$  están relacionadas con la fase monocíclica del mismo óxido (Jiménez, Santamaría, Maireles y López, 2011). Este sería un indicador de la presencia de óxido de zirconio en la superficie del catalizador.

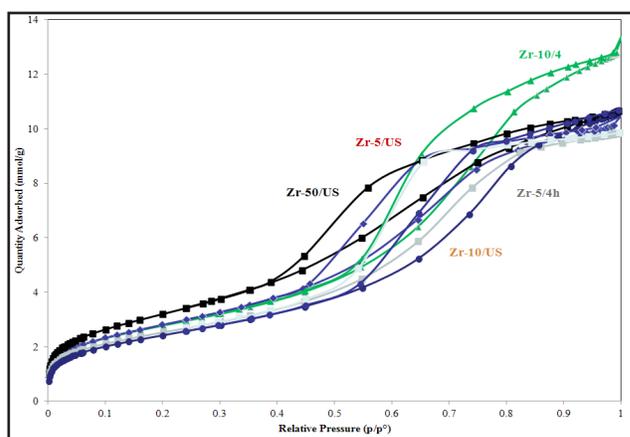
Figura 7. Difractograma DRX catalizadores sílice-zirconio



En relación con las características texturales de los sólidos, en la figura 8 se presentan las isothermas de adsorción-desorción de nitrógeno en los sólidos. Las isothermas obtenidas en los sólidos exhiben el comportamiento típico de sólidos mesoporosos y corresponden a isothermas tipo IV, siendo el rasgo distintivo

de esta isoterma su lazo de histéresis según la calificación BDDT (Condon, 2006). En la mayoría de los casos las isothermas presentan histéresis tipo H2, que corresponde al tipo de histéresis más común exhibido por la mayoría de óxidos inorgánicos. Este resultado indica un elevado grado de mesoporosidad, y es frecuente en agregados de partículas laminares o en adsorbentes que contienen poros en forma de rendijas entre láminas paralelas.

Figura 8. Isothermas de adsorción-desorción de nitrógeno en catalizadores sílice-zirconio



Las áreas superficiales calculadas por el método BET y el tamaño de poro promedio se presenta a continuación, en la tabla 2. Las áreas superficiales de los catalizadores se encuentran entre  $138$  y  $266 \text{ m}^2/\text{g}$ , con tamaños de poro promedio entre  $32$  y  $54$  (Condon, 2006).

Tabla 2. Características texturales de los catalizadores

Nombre	S BET ( $\text{m}^2/\text{g}$ )	Tamaño de poro ( $\text{Å}$ )
Zr-5/2	138	32.6
Zr-10/2	166	35.6
Zr-50/2	130	28.2
Zr-5/4	266	41.3
Zr-10/4	226	53.9
Zr-50/4	170	32.5
Zr-5/us	231	43.5
Zr-10/us	198	54.4

## Actividad catalítica

Con el objetivo de presentar una nueva alternativa en el desarrollo de catalizadores sólidos ácidos, es necesario evaluar su eficiencia con respecto a otros procesos. En tal sentido, esta eficiencia será evaluada por medio de la conversión de xilosa y la selectividad hacia la producción de furfural.

En la tabla 3 se presentan los resultados de actividad catalítica en la deshidratación de xilosa para la producción de furfural. El sólido que exhibe el mejor comportamiento, comparado a una temperatura de reacción de 140 °C, fue el Zr-50/4, obtenido con una conversión del 96 % y una selectividad a furfural del 42.7 %, este catalizador será utilizado a continuación en el análisis comparativo para mostrar las mejores propiedades en la actividad catalítica.

**Tabla 3.** Actividad catalítica en la deshidratación de xilosa para la producción de furfural

Catalizador	Conversión (%)	Selectividad (%)
	T=140 °C	
Zr-5/2	97	18.5
Zr-10/2	96	22.7
Zr-50/2	98	30.5
Zr-5/4	98	42.7
Zr-10/4	97	29.2
Zr-50/4	96	26.9
Zr-5/US	95	28.8
Zr-10/US	97	26.2

A la luz de la literatura, se examinaron aquellos catalizadores que obtuvieron los mejores rendimientos, y que tuvieran condiciones de reacción similares a las realizadas en este proyecto de investigación. Entre ellos se encuentran los sistemas de solventes agua/tolueno a diferentes temperaturas. En las anteriores condiciones, entre los resultados más relevantes se encuentran: MCM-41-SO<sub>3</sub>H a una temperatura de 140 °C y con un rendimiento del 76 %. En una temperatura de 170 °C, propilsulfónico-SBA (180) con un ren-

dimiento del 82 %, con el mismo sistema de solventes y el catalizador arenosulfónico-SBA (180), que alcanza un rendimiento del 86 % a una temperatura de 160 °C. A esta misma temperatura (160 °C), un rendimiento del 78 % es alcanzado con un catalizador de MgF<sub>2</sub>-71wt%-perfluorosulfónico, y por último, con un solvente bifásico (SBP/H<sub>2</sub>O) a una temperatura de 150 °C, el catalizador Sn-MMT obtenido a partir de una arcilla natural, muestra un rendimiento del 71 % (Campos Molina *et al.*, 2015; Li *et al.*, 2015; Agirrezábal *et al.*, 2014). Campos y colaboradores muestran el uso de arcillas pilarizadas como catalizadores ácidos en la conversión de xilosa, utilizando como solvente agua; en su procedimiento encontraron una selectividad a furfural del 35 % en una temperatura de 140 °C (Cortés *et al.*, 2013).

Teniendo en cuenta lo anterior, si bien con el uso de algunos catalizadores el rendimiento para la obtención de furfural es superior en comparación con los catalizadores obtenidos a partir de la CA, dicha variación en los resultados se puede explicar por el tipo de solvente usado en la reacción, dado que en la presente investigación fue utilizado como solvente solamente agua. Para evitar reacciones secundarias del furfural se recomienda reducir el tiempo de residencia del producto de interés en fase acuosa. El uso de dichos solventes orgánicos ayuda a realizar una extracción del furfural a una fase inmiscible con el agua, lo cual evita su contacto con xilosa y los intermedios. En el proyecto de investigación se usó un sistema que solo utilizaba agua, con el fin de trabajar bajo los principios de química verde, lo cual redujo el rendimiento de la operación.

El rendimiento de furfural se ve afectado por las reacciones secundarias que existen en el proceso de obtención. Por un lado, la xilosa puede degradarse, y por medio de fragmentación formar formaldehído, ácido fórmico, acetaldehído, dihidroxiacetona, gliceraldehído, glicolaldehído, ácido láctico, acetol y piruvaldehído. De igual forma, el furfural formado puede reaccionar con los productos intermedios de la deshidratación o consigo mismo para polimerizarse (Zubiri, 2012).

La temperatura de operación resulta importante en la comparación. Dicha variable de proceso pudo afectar la selectividad en el proyecto de investigación, redu-

ciendo su selectividad (Zubiri, 2012). Sin embargo, los catalizadores sintetizados a partir de la CA muestran una actividad comparable con reportes de la literatura, con los sistemas de reacción expuestos en el presente análisis, lo que afirma el potencial de este tipo de catalizadores y la disminución del impacto ambiental que se puede generar en este tipo de reacción al reemplazar un ácido mineral fuerte por un sólido ácido.

## CONCLUSIONES

La zirconia sulfatada obtenida a partir de residuos de cascarilla de arroz es un catalizador promisorio para la deshidratación de pentosas utilizando agua como solvente, dado que a 140 °C alcanza una selectividad del 43 % en una conversión del 98 %.

Durante la síntesis, el empleo de ultrasonido durante la etapa de envejecimiento disminuye el tiempo de síntesis sin afectar de manera significativa las características estructurales de los sólidos; sin embargo, no tiene un efecto significativo en la actividad catalítica.

La conversión de xilosa a furfural en presencia de catalizadores sólidos ácidos muestra un nuevo camino para desarrollar diferentes tecnologías limpias enfocadas en el uso de monosacáridos como materia prima, con el fin de extrapolar estas reacciones a residuos agrícolas, especialmente lingnocelulósicos, materiales con altos contenidos de pentosas.

## AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue posible gracias a la financiación de la Dirección de Investigaciones de la Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, donde se realizó el trabajo experimental. Dicha dirección también apoyó la presentación de este trabajo en diferentes eventos nacionales e internacionales.

Los autores expresan un agradecimiento especial a los doctores Rafael Alberto Molina y Sonia Moreno, directores del Grupo Estado Sólido y Catálisis Ambiental (ESCA) de la Universidad Nacional de Colombia, quienes nos permitieron la realización de las isoterms de nitrógeno en su laboratorio.

## REFERENCIAS

- Adam, F., Appaturi, J. N., e Iqbal, A. (2012). The utilization of rice husk silica as a catalyst: Review and recent progress. *Catalysis Today*, 190(1), 2-14, doi: <http://doi.org/10.1016/j.cattod.2012.04.056>
- Agirrezábal Tellería, I., Gandarias, I. y Arias, P. L. (2014). Heterogeneous acid-catalysts for the production of furan-derived compounds (furfural and hydroxymethylfurfural) from renewable carbohydrates: A review. *Catalysis Today*, 234, 42-58, doi: <http://doi.org/10.1016/j.cattod.2013.11.027>
- Campos Molina, M. J., Manuel, L. G., Antonella, G., y Paolo, C. (2015). Exploiment of niobium oxide effective acidity for xylose dehydration to furfural. *Catalysis Today*, 254, 90-98.
- Chen, K.-T., Wang, J.-X., Dai, Y.-M., Wang, P.-H., Liou, C.-Y., Nien, C.-W., Chen, C.-C. (2013). Rice husk ash as a catalyst precursor for biodiesel production. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 44(4), 622-629, doi: <http://doi.org/10.1016/j.jtice.2013.01.006>
- Condon, J. B. (2006). *Surface area and porosity determinations by physisorption measurements and theory*. Amsterdam: Elsevier B. V.
- Cortés, W., Piñeros, Y. y Campos, A. (2013). Conversion of D-xylose into furfural with aluminum and hafnium pillared clays as catalyst (Conversion de D-xilosa a furfural con arcillas pilarizadas con aluminio y hafnio como catalizadores). *Dyna*, 80(180), 105-112.
- Federación Nacional de Arroceros (2005). Fedearroz. Disponible en: <http://www.fedearroz.com.co/new/index.php>
- Fernandes I., Calheiro D., Kielling A., Moraes C. Rocha T., Brehm F. y Modolo R. (2016). Characterization of rice husk ash produced using different biomass combustion techniques for energy. *Fuel*, 165. 351-359, doi: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2015.10.086>

- FitzPatrick, M., Champagne, P., Cunningham, M. F. y Whitney, R. A. (2010). A biorefinery processing perspective: Treatment of lignocellulosic materials for the production of value-added products. *Bioresource Technology*, 101(23), 8915-22, doi: <http://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.06.125>
- Heshmatpour, F. y Aghakhanpour, R. B. (2012). Synthesis and characterization of superfine pure tetragonal nanocrystalline sulfated zirconia powder by a non-alkoxide sol-gel route. *Advanced Powder Technology*, 23(1), 80-87, doi: <http://doi.org/10.1016/j.apt.2010.12.012>
- Jiménez Morales, J., Santamaría González, P., Maireles Torres, A. (2010) Calcined zirconium sulfate supported on MCM-41 silica as acid catalyst for ethanolysis of sunflower oil. *Applied Catalysis B: Environmental*, 103, 91-98.
- Jiménez Morales, J., Santamaría González, P., Maireles Torres, A. y López, J. (2011). Applied catalysis B : Environmental calcined zirconium sulfate supported on MCM-41 silica as acid catalyst for ethanolysis of sunflower oil. *Applied Catalysis B: Environmental*, 103, 91-98, doi: <http://doi.org/10.1016/j.apcatb.2011.01.014>
- Kaur, M., Sharma, S. y Bedi, P. M. S. (2015). Silica supported Brønsted acids as catalyst in organic transformations: A comprehensive review. *Chinese Journal of Catalysis*, 36(4), 520-549, doi: [http://doi.org/10.1016/S1872-2067\(14\)60299-0](http://doi.org/10.1016/S1872-2067(14)60299-0)
- Kondo, J. N., Yoda, E., Ishikawa, H., Wakabayashi, F. y Domen, K. (2000). Acid property of silanol groups on zeolites assessed by reaction probe IR Study. *Journal of Catalysis*, 191(2), 275-281, doi: <http://doi.org/10.1006/jcat.1999.2807>
- Molina, M. J. C., Granados, M. L., Gervasini, A. y Carniti, P. (2015). Exploiment of niobium oxide effective acidity for xylose dehydration to furfural. *Catalysis Today*, 254, 90-98, doi: <http://doi.org/10.1016/j.cattod.2015.01.018>
- Morales, W. G., Sequeira, A., Chamorro, E., Braga, M., Sobral, A. y Sousa, H. (2012). Catálisis heterogénea en la obtención de biodiésel, *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 16, 15-22.
- Prasad, R. y Pandey, M. (2012). Rice husk ash as a renewable source for the production of value added silica gel and its application: An overview. *Bulletin of Chemical Reaction Engineering and Catalysis*, 7(1), 1-25, doi: <http://doi.org/10.9767/bcrec.7.1.1216.1-25>
- Quiceno Villada, D. y Gutiérrez Mosquera, M. Y. (2010). Alternativas tecnológicas para el uso de la cascarilla de arroz como combustible (trabajo de grado, Universidad Autónoma de Occidente, Facultad de Ingeniería, Cali, Colombia). 108.
- Rodríguez Avendaño, R. G., De los Reyes, J. A., Viveros, T. y Montoya, A. (2012). Efecto del soporte en la hidrogenación selectiva de citral sobre catalizadores de platino soportados en sílice circonia y sílice-titania. *ACI*, 3(1), 55-69.
- Sierra Aguilar, J. (2009). Alternativas de aprovechamiento de la cascarilla de arroz en Colombia (trabajo de grado, Universidad de Sucre, Facultad de Ingeniería, Sincelejo, Colombia). 1-94.
- Vansant, E. F., Van der Voort, P. y Vrancken, K. C. (1995). Characterization and chemical modification of the silica surface. *Studies in Surface Science and Catalysis* (93). Elsevier, doi: [http://doi.org/10.1016/S0167-2991\(06\)81513-2](http://doi.org/10.1016/S0167-2991(06)81513-2)
- Ward, A. J., Pujari, A., Costanzo, L., Masters, A. F., y Maschmeyer, T. (2011). The one-pot synthesis, characterization and catalytic behavior of mesoporous silica-sulfated zirconia solids. *Catalysis Today*, 178(1), 187-196, doi: <http://doi.org/10.1016/j.cattod.2011.08.003>
- Zubiri, I. S. (2012). Catalizadores para biorrefinería: obtención de furfural y su transformación a productos de condensación aldólica (tesis doctoral, Universidad Autónoma de Madrid, Facultad de Ciencias, Madrid, España).

# Inventario de gases efecto invernadero en la Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano (Utadeo)

## Inventory of greenhouse gases at the Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano (Utadeo)

**Daniela Manso Piñeros**

Departamento de Ciencias Biológicas y Ambientales, Facultad de Ciencias Naturales e Ingeniería,  
Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Bogotá, D. C., Colombia

**Carmen Alicia Parrado Moreno**

Departamento de Ciencias Biológicas y Ambientales, Facultad de Ciencias Naturales e Ingeniería,  
Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Bogotá, D. C., Colombia

<http://orcid.org/0000-0002-2013-8491>

**Andrés Julián Aristizábal**

Departamento de Ingeniería, Facultad de Ciencias Naturales e Ingeniería, Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Bogotá, D. C., Colombia

<http://orcid.org/0000-0002-7571-2913>

[andresj.aristizabal@utadeo.edu.co](mailto:andresj.aristizabal@utadeo.edu.co)

**Fecha de recepción: 29 de junio de 2017**

**Fecha de aceptación: 10 de octubre de 2017**

**Sugerencia de citación:** Manso Piñeros, D., Parrado Moreno, C. A. y Aristizábal, A. J. (2017). Inventario de gases efecto invernadero en la Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano (Utadeo). *Mutis*, 7(2), 44-58. doi: <http://dx.doi.org/10.21789/22561498.1252>

**Editor:** Hernández Fernández, J. [javier.hernandez@utadeo.edu.co](mailto:javier.hernandez@utadeo.edu.co)

## RESUMEN

Las universidades, como instituciones de educación superior, deben asumir compromisos ambientales, y estos compromisos requieren políticas claras y acertadas, así como la adopción de estrategias que involucren la cuantificación de sus impactos. En este estudio se presenta el inventario de gases de efecto invernadero (GEI) en la Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano (Utadeo), sede Bogotá, correspondiente al año 2015. Mediante la identificación y clasificación de las principales actividades desarrolladas en la institución y la posterior colección de datos de entrada de materia y energía se cuantificaron las emisiones de GEI en CO<sub>2</sub> equivalentes, acorde con la norma ISO 14064-1 (2006). En los límites organizacionales de la Utadeo se establecieron diez fuentes de emisión. En el alcance I se calcularon 138.163 t CO<sub>2</sub>e, atribuido a procesos de combustión de diésel y gas natural en el funcionamiento de plantas eléctricas, cafeterías y laboratorios; en el alcance II, 628.833 t CO<sub>2</sub>e, que corresponden a las emisiones indirectas por consumo de energía eléctrica en diversas actividades educativas y académicas. Además, en emisiones indirectas del alcance III se cuantificaron 921.368 t CO<sub>2</sub>e, asociadas a la infraestructura, el transporte aéreo, consumo de papel, agua y generación de residuos. El inventario de GEI de la Universidad fue de 1688.36 t CO<sub>2</sub>e, y las emisiones comprendidas en el alcance III fueron las que hicieron mayor aporte.

**Palabras clave:** gases efecto invernadero, alcances I, II y III, impacto, consumo y energía.



## ABSTRACT

In this study we estimated the emissions of Greenhouse Gases of the Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Bogota, for 2015; using the international methodology ISO 14064-1 by means of the identification and classification of the main activities that are developed in the institution and the subsequent quantification of the amount of CO<sub>2</sub>e emitted associated with them. It was possible to establish within the organizational limits of the university ten sources of emission. In the direct emissions of scope I, a total of 138.16 t CO<sub>2</sub>e was obtained, attributed to processes of combustion of diesel and natural gas in the operation of power plants, coffee shops and laboratories, followed by scope II with 628.83 t CO<sub>2</sub>e, which correspond to the indirect emissions by consumption of electric energy in the development of various educational and academic activities and in the other indirect emissions the scope III with a total of 921.382 t CO<sub>2</sub>e, mainly in construction, air transport, paper consumption, water and waste generation activities. The total emission of GHG from the University was 1688.3 t CO<sub>2</sub>e, with the scope III being the largest amount of GHG being generated within the university.

**Keywords:** Greenhouse gases, scope I, II and III, impact, consumption and energy.

## INTRODUCCIÓN

El sistema climático de la Tierra se caracteriza por variar a lo largo del tiempo, con alternancia en las condiciones climáticas desde que la atmósfera evolucionó hasta su estado actual como consecuencia de procesos naturales y humanos. Por ejemplo, en los últimos 500 millones de años se presentaron cuatro períodos muy cálidos y cuatro períodos fríos o de fríos extremos, relacionados específicamente con el forzamiento orbital (Hannah, 2015). Sin embargo, en las últimas décadas se han evidenciado cambios, no solo a causa de factores naturales, sino también por el desarrollo de actividades antrópicas de tipo industrial y comercial que responden al modelo de consumo y producción presente (Mapama, 2017). El impacto atmosférico por GEI relacionados con la actividad humana ha dado lugar al forzamiento radiativo del sistema climático, lo que modifica el efecto de la radiación de la energía del sol, el calentamiento de la atmósfera y produce incertidumbre climática (Hannah, 2015).

Hoy en día, los fenómenos asociados al cambio climático son cada vez más comunes, dado que los eventos ligados a este ocurren con mayor frecuencia con impactos sobre el nivel del mar, los glaciares y los bosques, entre otros. La principal causa de este fenómeno es el incremento en la concentración de

gases efecto invernadero (GEI), que se acumulan en la atmósfera y aumentan la temperatura media de la Tierra y, por tanto, alteran el ciclo natural del sistema climático del planeta (*National Aeronautics and Space Administration*, 2017). Por ejemplo, las emisiones de CO<sub>2</sub> se consideran la causa principal del cambio climático (Parga y Romero, 2013) y fueron responsables de cerca del 10 % del aumento del forzamiento radiativo entre el 2005 y 2012 (Myhre *et al.*, 2013). Además, en los países industrializados representan aproximadamente el 80 % de las emisiones de GEI, destinadas a permanecer en la atmósfera entre cincuenta y doscientos años, dependiendo de cómo se reciclen en la tierra o en los océanos (Comisión Europea, 2003).

El aumento de la temperatura evidencia transformaciones únicas en la historia. En primer lugar, la rapidez con la que estas variaciones están teniendo lugar en períodos de tiempo cortos respecto a la evolución del planeta; en segundo lugar, el hecho de que una única especie, el *Homo sapiens*, es el motor de todos los cambios (Crutzen y Stoermer, 2000), lo que constituye no solo un problema ambiental, sino también de desarrollo con impactos potenciales en la sociedad, la economía y los ecosistemas (Duarte, Alonso, Benito, Dachs, Montes, Pardo Buendía y Valladares, 2006). Por lo anterior, el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) y diversas instituciones

trabajan en la elaboración de guías, protocolos, directrices y metodologías internacionales que permitan obtener indicadores a partir de la cuantificación de las emisiones y aportes al calentamiento. Entre estos se encuentra el inventario de GEI de organizaciones estandarizado por la ISO 14064 (2006), que detalla los principios y requisitos para diseñar, desarrollar, administrar e informar inventarios de GEI a nivel organizacional. Este indicador permite cuantificar los gases emitidos de manera directa e indirecta por una institución. El inventario parte de una cuantificación de las entradas de materia y energía, para luego ser multiplicadas por un factor de emisión; de este modo se determinan las toneladas de CO<sub>2</sub> equivalentes, teniendo en cuenta los siete GEI considerados en el GHG Protocol (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, ozono troposférico (O<sub>3</sub>), CFC-12, HFC-22 y hexafluoruro de azufre SF<sub>6</sub>) (World Resources Institute y World Business Council for Sustainable Development, 2013).

El interés por determinar las emisiones de GEI en la actualidad se debe no solo a sus múltiples efectos, como la alteración de la composición química del aire, la contaminación térmica (causa del efecto invernadero acentuado) y los riesgos para la salud humana, sino también a la oportunidad que ofrece a las organizaciones en términos de promoción del ahorro financiero y la competitividad (Dangelico y Pujari, 2010). Aunque limitar los efectos del cambio climático significa un trabajo conjunto y es necesario para lograr el desarrollo sostenible y la equidad, hay que tener en cuenta las necesidades individuales, ya que las contribuciones pasadas y futuras de los países a la acumulación de GEI presente en la atmósfera son diferentes, y cada país se enfrenta a desafíos y circunstancias especiales; por tanto, tienen también diferentes capacidades para abordar la mitigación y la adaptación (IPCC, 2014). Por ejemplo, Colombia podría convertirse en uno de los cuarenta países con mayor responsabilidad histórica en la generación de emisiones de GEI por la deforestación, así las contribuciones reportadas en la última comunicación ante el IPCC reflejen que el país hace aportes muy bajos a las emisiones globales. En 2010, Colombia contribuyó con el 0.46 % de las emisiones a escala global, y se estima que el aumento será cercano al 50 % para

el año 2030 (García, Barrera, Gómez y Suárez, 2015). Por esto, el país se comprometió con la disminución de emisiones de GEI con una meta de reducción del 30% para el 2030. Para cumplir este propósito se estableció el desarrollo de inventarios anuales que incluyan los cuatro principales grupos propuestos por el IPCC: energía, procesos industriales, desechos y agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra. No obstante, para lograr esta meta se debe contemplar la cooperación de diferentes instituciones, agremiaciones y comunidades, entre otros actores, ya que el diseño de la política climática está influido por la manera en que los individuos y las organizaciones perciben los riesgos y las incertidumbres, y la manera como los toman en cuenta.

En el contexto mencionado, y teniendo en cuenta que está bien documentado que las instituciones de educación superior (IES) a escala mundial son actores influyentes tanto en la formulación de políticas locales y nacionales como en la de información que se hace llegar a la sociedad mediante la investigación y la educación de los graduados sobre las consecuencias del cambio climático (Etzkowitz, 1998), las IES pueden ser incubadoras exitosas de innovación y origen de múltiples iniciativas de sostenibilidad (Robinson, Tewkesbury, Kemp y Williams, 2017). Colombia ha situado la educación como principal prioridad para mejorar el desarrollo económico y social de la nación de manera sostenible. Esto incluye espacios educativos que respondan a problemáticas actuales, como el cambio climático (Mineducación, 2016). Sin embargo, comparadas con las de otros países, en Colombia aún son escasas las IES que reportan inventarios de GEI, razón por la cual existe poca documentación sobre las emisiones de este sector. En Estados Unidos, universidades como la de Pensilvania y Middlebury realizaron su inventario y reportaron las emisiones totales de sus campus. Estas instituciones contemplaron las emisiones asociadas a infraestructura y desarrollo de las diferentes actividades. Los estudios concluyeron que las principales fuentes de contaminación eran la calefacción, el uso de energía eléctrica, el uso de combustibles en los diversos medios de transporte y los residuos sólidos generados en actividades diarias (Isham, del Negro y Bission, 2003; Mondejar, Viñoles, Bastante, Collado y Capuz,

2011), en tanto que en Europa la Universidad Noruega de Ciencia y Tecnología determinó su huella de carbono (HC), por medio de un modelo ambiental de relación de entradas y salidas, que reportó emisiones de 4.6 t de CO<sub>2</sub>e en el período de estudio, y mostró, además, menores emisiones en los departamentos de ciencias sociales y humanidades que en los de ciencias naturales e ingeniería. Estos resultados fueron la base para determinar que la Universidad necesitaba generar diferentes estrategias de mitigación, dependiendo de los comportamientos y actividades realizadas por áreas (Larsen, Pettersen, Solli y Hertwich, 2013).

De esta manera, los estudios de inventario de GEI en instituciones universitarias de diferentes países han logrado identificar los impactos relacionados con el consumo energético y de recursos, como agua, materiales para construcción, papel y combustibles fósiles, o con el manejo inadecuado de los desechos generados, como también el bajo compromiso institucional y de los diversos actores, que probablemente involucren este sector como contribuyente al calentamiento global (Agüero y César, 2014). Por ello, en la actualidad se observa un incremento de los estudios para la determinación del inventario de GEI de las instituciones de educación superior para responder a la necesidad de comprender y transformar las operaciones que ejecutan, además de posicionarse como una actividad responsable y comprometida con el ambiente. En este contexto, este trabajo tuvo como objetivo estimar el inventario de GEI de la Utadeo con el fin de proporcionar información sobre los aportes de la institución al calentamiento global y, adicionalmente, identificar los puntos críticos de emisión.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Procedimiento general de análisis

Se emplearon, como método de evaluación, los procedimientos estandarizados en la ISO 14064-1 (2006). Este protocolo describe los procesos para el inventario de GEI organizacional, y comprende las siguientes etapas: presentación de la institución universitaria, definición de los límites organizacionales (administrativo, financiero, académico y logístico) y operativos e

identificación de las fuentes de emisión en la universidad, selección del método de cálculo y elección de factores de emisión, para el posterior análisis y reporte de los resultados.

### Presentación de la organización y el alcance

El estudio se enmarca en las actividades educativas y administrativas de la Utadeo, sede Bogotá, durante el año 2015. Se estimaron las emisiones de GEI, en CO<sub>2</sub>e generadas en el período considerado, contemplando los procesos propios de una institución de educación superior, excluyendo transporte de los estudiantes a la universidad, debido a falta de información. La Universidad se encuentra ubicada en la ciudad de Bogotá, D. C., en la localidad de Santa Fe, y cuenta con un campus constituido por biblioteca, museos, estudios de audiovisuales, laboratorios y talleres, auditorios, centros de investigación, salones de clase, salas de cómputo, zonas verdes y espacios deportivos. La sede ofrece veintisiete programas de pregrado, diecisiete especializaciones, dieciocho programas de maestría y dos de doctorado en el conjunto de sus facultades.

La población total en el año 2015 fue de 13 238 individuos, entre los que hay 11 256 estudiantes y 1982 entre personal docente, administrativo y de servicios.

## DEFINICIÓN DE LOS LÍMITES Y FUENTES DE EMISIÓN

### Límites

En este estudio se eligió el año 2015 como límite temporal, debido a la disponibilidad de datos de inventario relativos a este período. El límite espacial fue determinado por la totalidad del campus universitario, que se encuentra organizado en bloques de aulas de clase, administración y talleres, entre otros (tabla 1)

La Universidad cuenta con 69 904.18 m<sup>2</sup> de área construida y 33 módulos, constituidos por 1058 espacios (tabla 1).

**Tabla 1.** Espacios físicos de la Universidad y área total construida

Tipo de espacio	Número de espacios	Área construida (m <sup>2</sup> )
Aulas de clase	194	9308.38
Laboratorios	38	2572.28
Salas de tutoría	5	44.31
Auditorios	4	1556.40
Bibliotecas	1	2714.88
Salas de cómputo (37) y audiovisuales (18)	55	2678.03
Oficinas	501	9833.64
Taller	24	1798.09
Almacenamiento	1	2723.71
Servicios asistenciales	9	255.36
Cafeterías	5	1266.85
Servicios sanitarios	213	2159.69
Otros (circulación interna, estructura y técnicos)	9	32992.56
<b>Total</b>	<b>1058</b>	<b>69904.18</b>

Fuente: Oficina de Desarrollo Físico, Utadeo

## Límites operacionales

Los límites operacionales se identificaron a partir de las fuentes de emisión de GEI, y se clasificaron en tres alcances, relacionados con actividades desarrolladas en los límites organizacionales establecidos anteriormente.

**Alcance I:** se incluyeron los procesos de consumo de combustible de fuentes fijas, como diésel, para el funcionamiento de las plantas eléctricas de la Universidad y el consumo de gas natural en laboratorios y cafeterías.

**Alcance II:** se consideraron las emisiones relacionadas con el consumo de energía en actividades administrativas y académicas, como iluminación, funcionamiento de equipos de cómputo, televisores, maquinaria, equipos de laboratorio y talleres.

**Alcance III:** este alcance, aunque es opcional en la metodología propuesta por la ISO 14064-1, fue incluido en el estudio. Se consideraron los siguientes procesos: viajes aéreos realizados por docentes y administrativos, consumo de agua en el funcionamiento de los baños, actividades de riego, limpieza, lavado de fachadas y zonas comunes, consumo de papel en actividades académicas y administrativas, generación de residuos peligrosos y reciclables e infraestructura construida.

## Identificación de las fuentes de emisión

Las fuentes de emisión fueron establecidas a partir de las principales actividades que se realizan dentro de la Utadeo. Se inventarió el consumo de diésel, consumo de gas natural, de energía eléctrica, de agua y de papel, transporte aéreo, generación de residuos reciclables y peligrosos e infraestructura construida.

## SELECCIÓN DEL MÉTODO DE CÁLCULO Y RECOLECCIÓN DE DATOS

Para determinar el inventario de GEI se elaboró una hoja de cálculo en Excel, donde se anotarían los datos de inventario siguiendo el estándar ISO 14064-1.

El inventario de las diferentes actividades académicas y administrativas se adquirió mediante el acceso a diferentes fuentes de información reportadas por la Universidad y centralizadas en la Dirección de Desarrollo Organizacional.

## Factores de emisión

Los factores de emisión utilizados para cada una de las actividades y sus respectivas fuentes se muestran en la tabla 2.

Tabla 2. Factores de emisión para el cálculo del inventario de GEI

Actividad		Factor de emisión de CO <sub>2</sub> e	Fuente de factor de emisión	
Consumo de diésel		10.2765 kg CO <sub>2</sub> e./gal	Unidad de Planeación Minero Energética <sup>1</sup>	
Consumo de gas natural		1.9801 kg CO <sub>2</sub> e./m <sup>3</sup>		
Consumo de energía eléctrica		0.221 kg CO <sub>2</sub> e./kWh		
Transporte aéreo	Vuelos nacionales	0.205 kg CO <sub>2</sub> e./km recorrido	PUCC <sup>2</sup> ; DEFRA <sup>3</sup>	
	Vuelos internacionales	Cortos*		0.116 kg CO <sub>2</sub> e./km recorrido
		Largos**		0.135 kg CO <sub>2</sub> e./km recorrido
Consumo de agua		0.1427 kg CO <sub>2</sub> e./m <sup>3</sup>	UCO <sup>4</sup>	
Consumo de papel		1.30 kg CO <sub>2</sub> e./kg	EPA <sup>5</sup>	
Generación de residuos reciclados	PET***	2.538 kg CO <sub>2</sub> e./kg residuo	ASIPLA <sup>6</sup>	
	Hierro	2.9 kg CO <sub>2</sub> e./kg residuo		
	Polipropileno	1.343 kg CO <sub>2</sub> e./kg residuo		
	Vidrio	0.04 kg CO <sub>2</sub> e./kg residuo		
	Aluminio	9.13 kg CO <sub>2</sub> e./kg residuo	DEFRA	
	Papel + cartón	0.55 kg CO <sub>2</sub> e./kg residuo		
	Plástico	0.035 kg CO <sub>2</sub> e./kg residuo	ANIQ <sup>7</sup>	
	Vasos de cartón	10.15 kg CO <sub>2</sub> e./kg residuo		
Generación de residuos peligrosos	RAEE ****	0.0846 kg CO <sub>2</sub> e./kg residuo	UCO	
	Biosanitarios y residuos sin categorizar	0.0502 kg CO <sub>2</sub> e./kg residuo		
	Disolventes	0.0991 kg CO <sub>2</sub> e./kg residuo		
	Materiales y envases contaminados	0.0262 kg CO <sub>2</sub> e./kg residuo		
	Ácidos, bases y soluciones	0.0677 kg CO <sub>2</sub> e./kg residuo		
	Aceites	0.0347 kg CO <sub>2</sub> e./kg residuo		
	Pesticidas	7.37 kg CO <sub>2</sub> e./kg residuo	Carbon Trust	
	Residuos orgánicos	0.365 kg CO <sub>2</sub> e./kg residuo	DEFRA	
	Tóner	2.76 kg CO <sub>2</sub> e./kg residuo	ASIPLA	
Aguas residuales industriales		5,63 kg CO <sub>2</sub> e./DQO	IPCC	
Infraestructura construida		520 kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> construido		

<sup>1</sup> Unidad de Planeación Minero Energética; <sup>2</sup> Pontificia Universidad Católica de Chile; <sup>3</sup> Department for Environment, Food & Rural Affairs; <sup>4</sup> Universidad de Córdoba; <sup>5</sup> Environmental Protection Agency; <sup>6</sup> Análisis del impacto de los gases de efecto invernadero en el ciclo de vida de los embalajes y otros productos plásticos en Chile V1.0; <sup>7</sup> Asociación Nacional de la Industria Química.

\* Distancias menores a 2000 km

\*\* Distancias mayores a 2000 km

\*\*\* Tereftalato de polietileno

\*\*\*\* Residuos de aparatos electrónicos y eléctricos

PCGN<sub>2</sub>O: 298

PCG CFC-11: 4750

PCG CFC-12: 10 900

PCG Halon-1301: 7140

PCG Carbon Tetrachloride: 1400

El factor de emisión empleado para vasos de cartón fue establecido por medio del estudio mexicano “Análisis de ciclo de vida de vasos desechables en México”, en el que se determinó el aporte a la categoría de calentamiento global para 1600 millones de vasos de papel plastificado de 10 oz. La carga ambiental potencial en el ciclo de vida fue de 95 809 900 kg de CO<sub>2</sub>e

por la unidad funcional. Sin embargo, para el uso de un factor de emisión en este estudio fue necesario pasarlo a kg de vasos, por lo cual se determinó un peso promedio de vasos de 10 onzas (0.0059 kg/vaso), y luego de determinar la contribución en CO<sub>2</sub>e de la unidad, fue llevado a kilogramo de vasos, como se muestra en la ecuación 1.

$$\begin{aligned} \text{Factor de emisión (kg CO}_2 \text{ Eq.)}_{1 \text{ pieza}} &= \frac{95809900 \text{ kg CO}_2 \text{ Eq.}}{1600000000} && \text{Ec. 1} \\ &= 0.0599 \frac{\text{kg CO}_2 \text{ Eq.}}{\text{pieza}} * 169.5 \text{ vasos (1kg de vasos)} = 10.15 \text{ kg co2e./kg} \end{aligned}$$

Para el caso de aguas residuales industriales, el factor de emisión se determinó a partir de las directrices establecidas por el IPCC para aguas residuales, empleando la ecuación 2.

$$FE_{ARI} = CMP_{CH_4} * FC_{CH_4} * PCG_{CH_4} \quad \text{Ec. 2}$$

Donde:

**FE<sub>ARI</sub>**: factor de emisión para tratamiento de las aguas residuales industriales

**CMP<sub>CH<sub>4</sub></sub>**: capacidad máxima de producción de metano en las aguas residuales industriales (el valor por defecto es 0.25 kg de CH<sub>4</sub> \*kg DBO5)

**FC<sub>CH<sub>4</sub></sub>**: factor de corrección para el metano (el valor por defecto es 0.9)

**PCG<sub>CH<sub>4</sub></sub>**: potencial de calentamiento global del metano (25)

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La tabla 3 muestra los resultados del inventario de GEI de la Utadeo en cada uno de los alcances, con un total de 1688.365 t CO<sub>2</sub>e y correspondientes a 0.15 t CO<sub>2</sub>e por estudiante para el año 2015. Del total de emisiones, 8.18 % proviene del alcance I, 37.25 % del II y 54.57 % del III. Estos resultados son inferiores a los encontrados en estudios de diferentes instituciones. En la Universidad de Montfort, en Inglaterra, fueron determinadas 2.3 t CO<sub>2</sub>e por estudiante (Ozawa-Meida, Brockway, Letten, Davies y Fleming, 2013); en la Universidad Noruega de Ciencia y Tecnología, 4.6 t CO<sub>2</sub>e por estudiante (Larsen *et al.*, 2013), y en la Universidad Cas-

tilla-La Mancha, en España, 0.74 t CO<sub>2</sub>e por estudiante (Gómez, Cadarso y Monsalve, 2016). Sin embargo, es necesario tener en cuenta que los dos primeros estudios contemplaron el transporte de los estudiantes a las universidades, mientras que en el presente estudio y en el de la Universidad Castilla-La Mancha este parámetro no fue involucrado. Las cargas ambientales por uso de transporte pueden incrementar ampliamente el inventario de GEI de la Utadeo, ya que los estudiantes se desplazan, en su mayoría, en servicio público desde diferentes barrios de Bogotá o localidades de la sabana, y su servicio en general es poco eficiente, aspecto relacionado con la antigüedad y uso de gasolina y diésel como combustible. Según reporta la Secretaría de Movilidad de Bogotá D. C. (2015), el 76.7 % de los vehículos de servicio público tipo bus corresponden a modelos 2003 y posteriores, cuyo combustible es diésel. En cuanto a busetas, el 80 % funcionan con diésel y el 20 %, que son modelos antiguos (1992 y anteriores), operan con gasolina, y los microbuses son modelos fabricados entre 1993 y 2013, y usan diésel y gasolina como principal fuente de combustible.

En el alcance III, el transporte aéreo juega un papel fundamental en los aportes al inventario, con un segundo lugar en aportes después de infraestructura. Las emisiones de GEI por este aspecto están vinculadas con los viajes nacionales e internacionales de pro-

fesores, estudiantes y administrativos. Los destinos nacionales visitados con mayor frecuencia en el año 2015 fueron las ciudades de Santa Marta y Cartagena, debido a que existen dos sedes de la universidad en estas localidades. También se reportaron viajes frecuentes a Cúcuta y Neiva, asociados al desarrollo de convenios con instituciones de educación en estas regiones. En cuanto a viajes internacionales, los destinos a los que se viajó con mayor frecuencia fueron París, Monterrey y Santiago de Chile, debido a compromisos institucionales como participación en congresos o búsqueda de convenios, entre otros. Las emisiones de GEI por transporte aéreo de personal y estudiantes de la Utaдео se calcularon en 136.641 t CO<sub>2</sub>e, lo que se traduce en una contribución del 14.83 % en este alcance. Los vuelos internacionales aportan mayor cantidad de toneladas de CO<sub>2</sub>e que los nacionales, debido a que viajes realizados al exterior implican mayor gasto de combustible (queroseno), ya que las cargas ambientales de la aviación asociadas al forzamiento radiativo (FR) se encuentran relacionadas con las emisiones de CO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub>, principalmente (Lee, Fahey, Forster, Newton, Wit, Lim, Owen y Sausen, 2009). Los resultados aquí encontrados son similares a los cálculos del inventario de GEI del Instituto de Ingeniería de la Universidad Autónoma de México (Güereca, Torres y Noyola, 2013), la Universidad de Córdoba (Toro, Gomera, Aguilar, Guijarro, Antúnez y Vaquero, 2015) y la Universidad Politécnica Salesiana, en Ecuador (Dávila y Varela, 2014). En ellos también se determinó que la mayor carga estaba asociada a los viajes en avión, entre los diferentes medios de transporte contemplados, lo cual demuestra que en el alcance III, la movilidad es una de las actividades que más aportes hacen a las emisiones de GEI. Sin embargo, se debe considerar que, en este estudio, no se tuvo en cuenta la movilización terrestre de estudiantes, personal administrativo y docente, lo cual le resta la contribución de este alcance al inventario de GEI final. Las emisiones generadas por transporte aéreo son muy cercanas al total generado en el alcance I, con diferencia de 1.52 t CO<sub>2</sub>e, que evidencia que los viajes superan el uso de combustible empleado en actividades dentro de la Utaдео.

La Utaдео tiene alto consumo de papel, dadas las diferentes actividades que lo requieren; principalmente, impresión y fotocopiado de documentos en las diver-

sas dependencias administrativas y académicas. El consumo total en el año de estudio fue de 19.99 t/año, lo cual representa una contribución de 2,82 % en el alcance y 25.98 t CO<sub>2</sub>e de emisiones. Esto representa un consumo medio de 1.60 kg/año de papel por estudiante, valor inferior al determinado en el Instituto de Ingeniería de la Universidad Autónoma de México, que fue de 9 kg por estudiante, aunque con mínimos aportes al inventario de GEI. Este fue menor a los aportes encontrados para este aspecto en la Universidad de Montfort, en donde calcularon 216 t CO<sub>2</sub>e en el periodo académico comprendido entre el 2008 y 2009 (Ozawa-Meida *et al.*, 2013). En cuanto a generación de residuos, la Utaдео generó 11009.9 kg/año para reciclar, que emiten 22.08 t CO<sub>2</sub>e, que representa el 2,40 % (figura 1). Los vasos de cartón fueron el residuo con mayores aportes (8.82 t CO<sub>2</sub>e y 0.96 % de contribución). El uso de vasos es alto como resultado de la generalización de su uso en oficinas, venta de café en dispensadores de bebidas y cafeterías en este tipo de envase. Es preciso resaltar que las emisiones por el uso de este tipo de vasos son relevantes, porque el ciclo de vida del producto se caracteriza por llevar a cabo procesos que requieren alto consumo de energía y materias primas en su elaboración (Asociación Nacional de la Industria Química, 2013). Los demás residuos generados resultan de la realización de diversas actividades, como almacenamiento de productos de laboratorios, consumo de bebidas, material de talleres de diseño. La mayoría de los residuos peligrosos proviene de laboratorios de biología y diferentes carreras de ingeniería, talleres de fotografía y mantenimiento. Aunque los aportes de los residuos para reciclaje y peligrosos hacen un aporte mínimo, que corresponde al 3.47 %, lo cual concuerda con el estudio realizado por Toro *et al.* (2015) en la Universidad de Córdoba (España), no se puede subestimar esta carga y, por tanto, se deben buscar programas para hacer más eficiente el uso de insumos y minimizar la extracción de materias primas.

Finalmente, las mayores emisiones en el alcance III estuvieron asociadas a la infraestructura para el desarrollo de las actividades académicas, administrativas y culturales. El total de emisiones fue de 921.382 t CO<sub>2</sub>e, con aportes de 54.57 % (figura 1) al inventario de GEI total. Este resultado es relevante, ya que es acorde con lo expresado por Huang, Weber y

Matthews (2009) y Downie y Stubbs (2013), quienes expresan que las emisiones ligadas a este alcance pueden representar hasta el 75 % de las emisiones directas e indirectas para la gran mayoría de las empresas. Asimismo, diversos estudios del inventario de GEI de instituciones universitarias coinciden en emisiones más altas desde este alcance. Por ejemplo, Ozawa-Meida *et al.* (2013) reportan el 79 % en el inventario de GEI desde este alcance en la Universidad de Montfort, 53 % en la Universidad de Lancaster y 61 % en la Universidad de York (en el Reino Unido); estos aportes fueron el resultado de consumo de papel en actividades académicas y administrativas, y otras de menor carga, la generación de residuos reciclables y peligrosos. El área construida de la Utadeo corresponde a 69 904.18 m<sup>2</sup>, a la cual se le asignó una vida útil de cincuenta años, que representa 727.003 t CO<sub>2</sub>e (tabla 3), con aportes del 78.90 % (figura 1), en este alcance. Las contribuciones al inventario de GEI por este aspecto se encuentran relacionadas con lo especificado por Mercader, Ramírez de Arellano y Olivares (2012), quienes determinan que el requerimiento de altas cantidades de energía en procesos de explotación y transformación de materiales y la disposición de residuos y emanaciones a la atmósfera, durante el ciclo de vida de las obras y productos, generan altas emisiones. Aunque no se realizó inventario detallado de los materiales y energía utilizados en el proceso de construcción, la determinación de las áreas y la asignación de un período de vida útil permitieron agregar esta entrada al cálculo del inventario de GEI. Con respecto a este parámetro, la Escuela Universitaria Politécnica de Manresa, por medio del modelo de investigación de edificación sostenible (MIES) concuerda con que la estimación de las emisiones asociadas a la vida útil de los edificios representa alta carga ambiental (Jorge y Busquets, 2003).

En segundo lugar, se determinaron los aportes por consumo de energía eléctrica (alcance II) comprados con los de la red de interconexión eléctrica de la ciudad y con el 100 % del aporte. En este alcance se contemplaron las actividades administrativas y académicas que requieren uso de equipos conectados a la red, así como sistemas de iluminación. Las emisiones totales fueron calculadas en 628.833 t CO<sub>2</sub>e, con un consumo total de 3159.967 kWh. El aporte por estas actividades a las

emisiones totales (37.25 %) fue representativo, dado que la mayoría de las áreas requieren iluminación para el desarrollo de actividades diurnas o nocturnas. En general, el diseño de aulas y oficinas no permite el uso de luz natural. Además, el funcionamiento constante de equipos que apoyan los aspectos administrativos y académicos diarios tiene alta demanda energética. Este resultado concuerda con lo reportado por Güereca *et al.* (2013) y Aroonsrimorakot, Yuwaree, Arunlertaree, Hutajareorn y Buadit (2013) para la Universidad Autónoma de México y la Universidad Mahidol de Tailandia, en donde el consumo de energía se sitúa como una de las actividades con mayor carga a las emisiones de CO<sub>2</sub>e en instituciones de educación superior, aunque no el principal. Contrario a lo encontrado por Utaraskul (2015) en la Universidad de Suan Sunandha Rajabhat (Tailandia), quien afirma que el alcance II presentó la mayor carga ambiental en el inventario de GEI, con 44 % de contribución, debido principalmente al uso de aparatos electrónicos.

Según el Sistema de Información Eléctrico Colombiano, el país cuenta con una mezcla energética basada en hidroelectricidad como principal fuente de generación de energía y un pequeño aporte de generación térmica. Por esta razón, el factor de emisión es relativamente bajo. La hidroenergía es una de las alternativas que menor impacto tienen en la emisión de GEI. Sin embargo, en el año 2015 hubo un déficit de aportes hídricos, como consecuencia del fenómeno de El Niño, que ocasionó incrementos en la generación de energía térmica en 12.1 % e hidráulica en 0.7, en comparación con el 2014 (Isagén, 2016). Esto resultó en un factor de emisión superior al del año anterior, posiblemente como consecuencia de la quema de combustibles, entre ellos gas natural, carbón y diésel para el funcionamiento de las centrales térmicas, a lo que se suman aumentos en la demanda de energía. Con base en lo anterior, en la Utadeo, el gasto de electricidad posiblemente se relacione con los episodios de déficit del recurso hídrico ocurridos en 2015 y a la mayor demanda, por el crecimiento de la institución en cuanto a infraestructura y población. Sin embargo, es necesario realizar comparaciones con años anteriores para poder establecer diferencias y desarrollar estrategias de uso eficiente. Además, es posible que el consumo esté relacionado con el uso poco responsa-

Tabla 3. Inventario de GEI de la UTL

Alcance	Fuente de emisión	Cantidad	Unidad	Factor de emisión	T de CO <sub>2</sub> e	Contribución (%)		
I	Consumo de diésel	13 070	gal	10.2765 kg CO <sub>2</sub> e/gal	134.314	97.2		
	Consumo de gas natural genérico	1944	m <sup>3</sup>	1.9801 kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>3</sup>	3.849	2.78		
	<b>Total alcance I</b>					<b>138.163</b>	<b>8.18</b>	
II	Consumo de energía eléctrica	3159967	kWh	0.221 kg CO <sub>2</sub> e/kWh	628.833	100		
	<b>Total alcance II</b>					<b>628.833</b>	<b>37.25</b>	
III	Transporte aéreo	VN*	257 332.51	km	0.205 kg CO <sub>2</sub> e./km recorrido	136.641	14.82	
		VI**	C		25 843.59			0.116 kg CO <sub>2</sub> e/km recorrido
			L		599 188.48			0.135 kg CO <sub>2</sub> e/km recorrido
	Consumo de agua	29020	m <sup>3</sup>	0.1427 kg CO <sub>2</sub> e /m <sup>3</sup>	4.141	0.45		
	Consumo de papel	19986	kg	1.30 kg CO <sub>2</sub> e /kg	25.982	2.82		
	Residuos para reciclaje	PET	635.6	kg	2.538	kg CO <sub>2</sub> e/kg residuo	1.613	0.175
		Hierro	345		2.9		1.001	0.11
		Polipropileno	141.4		1.343		0.190	0.02
		Vidrio	328		0.04		0.013	0.0014
		Papel y cartón	7318		0.55		4.025	0.44
		Plástico	672		0.035		0.024	0.0025
		Vasos de cartón	868.9		10.15		8.819	0.96
		Aluminio	701		9.13		6.400	0.70
		RAEE	1151		0.0846		0.097	0.01
		Biosanitarios y sin categorizar	2569		0.0502		0.129	0.014
	Residuos peligrosos	Disolventes	262.9	0.0991	0.026	0.0082		
		Materiales y envases contaminados	206.1	0.0262	0.005	0.00059		
		Ácidos, bases y soluciones	3184.6	0.0677	0.216	0.023		
		Aceites	1	0.0347	0.0000347	0.0038		
		Pesticida inespecífico	312.8	7.37	2.305	0.25		
		Residuos orgánicos	4	0.365	0.001	0.00016		
		Tóner	925	2.76	2.553	0.28		
		Aguas residuales industriales	32.6	kg	5.63	kg CO <sub>2</sub> e/DQO	0.183	0.02
	Infraestructura construida	69904.18	m <sup>2</sup>	520	kg CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> construido	727.003	79	
	<b>Total alcance III</b>				<b>921.369</b>	<b>54.57</b>		
	<b>Inventario de GEI</b>				<b>1688.365</b>	<b>100</b>		

\* Viajes nacionales

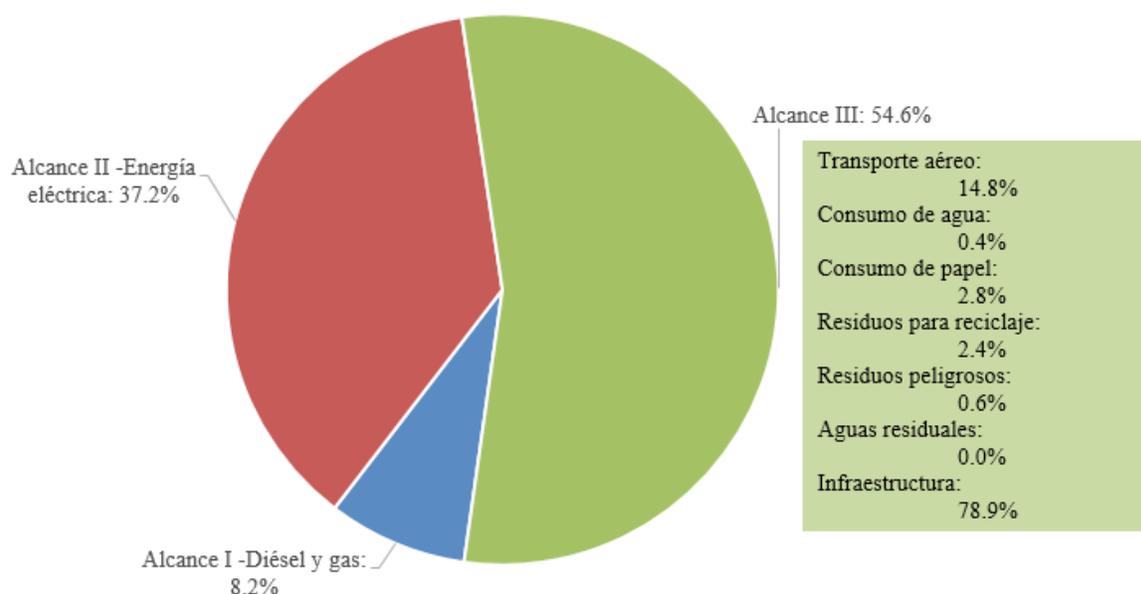
\* Viajes internacionales

ble: a menudo se dejan encendidas las luces de aulas, baños y diferentes espacios, así como equipos electrónicos sin apagar. Rodas (2014) reporta que las instituciones de educación superior no son directamente responsables de las emisiones generadas por el consumo de energía eléctrica, ya que las emisiones provienen de procesos de producción y distribución de los generadores del servicio, así que ellos se pueden considerar los responsables directos de las emisiones. No obstante, al ser proveedores de servicios, la generación de emisiones se traslada a las instituciones.

Por último, en el alcance I, el consumo de diésel (13070 galones) estuvo asociado al funcionamiento de las plantas eléctricas durante los cortes de energía, en tanto que el consumo de gas natural (1944 m<sup>3</sup>) se atribuyó al funcionamiento de las cafeterías y los laboratorios. Se contempló únicamente el consumo de combustibles para estos procesos, dado que en la Utaeo no se registra el consumo energético en equipos de climatización ni vehículos. No obstante, diversos estudios internacionales demuestran que el consumo de combustibles en calefacción, aire acondicionado y movilidad de vehículos propios son fuentes de emisión

representativas en este alcance (Isham *et al.*, 2003). El total de emisiones fue de 138.163 t CO<sub>2</sub>e, con aportes del 97.21 % por uso de diésel y 2.78 % por consumo de gas natural genérico (tabla 3). En efecto, las mayores emisiones estuvieron asociadas al uso del combustible para seis plantas de generación de electricidad, necesarias como medida de contingencia para los períodos de interrupción del fluido en la red eléctrica. El consumo de diésel representa una alta carga ambiental, ya que los procesos de combustión incrementan el contenido de residuos minerales y emisiones de humo. Por esto, se considera el gas natural la mejor alternativa respecto a otro tipo de combustibles, incluido el diésel. La combustión del gas produce una mínima cantidad de residuos y funciona como fuente de energía directa en actividades productivas, es decir, no requiere de transformaciones, como los derivados del petróleo (Minetad, 2016); por esta razón tiene un factor de menor emisión. Estos varían no solamente de acuerdo con el tipo de combustible, sino con la actividad en la que se aplique su proceso de combustión y la tecnología utilizada para tal fin (Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, 2013).

Figura 1. Contribución de los alcances I, II y III a las emisiones de CO<sub>2</sub> en el inventario de GEI



El consumo de gas natural no fue significativo, dado que la Utadeo, en el 2015, contaba con cinco cafeterías, de las cuales solo dos hacían uso del recurso para la preparación de alimentos. En laboratorios el gas solo se utilizó para los mecheros, que no requieren gran cantidad de combustible para su funcionamiento. De esta manera, este alcance presentó aportes del 8.183 % (figura 1) al inventario de GEI, con la menor contribución a las emisiones de CO<sub>2</sub>e.

En resumen, el inventario de GEI de la Utadeo recibe la mayor contribución por el alcance III, seguido por el II y, por último, el alcance I. Esto indica que la Utadeo se caracterizó por tener entre sus actividades educativas procesos relacionados con los tres alcances, lo que evidencia el consumo de diversos recursos y la generación de residuos. Es importante resaltar la necesidad de construir una base de datos actualizada que contemple la totalidad de datos requeridos para la determinación de un inventario de GEI más ajustado a la realidad.

## CONCLUSIONES

El inventario de GEI de la Utadeo, sede Bogotá, en el año 2015 fue de 1688.365 t de CO<sub>2</sub>e, que corresponde a la sumatoria de los alcances I, II y III.

Las emisiones directas de GEI están asociadas al consumo de combustibles fósiles, y las indirectas al consumo de energía eléctrica, viajes aéreos, consumo de agua y papel, generación de residuos peligrosos, y residuos para reciclaje, aguas residuales industriales y construcción.

En el inventario de GEI, el alcance que más toneladas de CO<sub>2</sub>e generó fue el III, principalmente por actividades de construcción y transporte aéreo.

Entre las actividades realizadas en instituciones de educación superior, aquellas que involucran el consumo de combustibles fósiles son las de mayor aporte a la emisión de GEI.

## RECOMENDACIONES

Es importante que la Utadeo haga anualmente inventario de su GEI, para poder realizar comparaciones

respecto al año base y saber si se ha reducido, mantenido o aumentado la cantidad de emisiones.

Se recomienda llevar registros de cada uno de los consumos que se dan en la institución debido a sus diferentes actividades educativas y de la generación de residuos, con el fin de integrar en el cálculo de la huella todas las actividades y obtener información más confiable y real. Además, como estrategia para disminuir la cantidad de emisiones, conviene realizar campañas de sensibilización, entre toda la comunidad universitaria, acerca del uso de los recursos y la generación de residuos.

## REFERENCIAS

- Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales (2013). *Factor de emisión de los combustibles colombianos: informe final*. Disponible en [http://www.siame.gov.co/siame/documentos/documentacion/mdl/HTML/18\\_FECOC.htm](http://www.siame.gov.co/siame/documentos/documentacion/mdl/HTML/18_FECOC.htm).
- Agüero, C. y César, E. (2014). Elaboración de un protocolo de gestión ambiental para micro, pequeñas y medianas empresas de turismo rural comunitario en Costa Rica, que facilite el proceso de reducción de huella de carbono en sus actividades. *Revista de Investigación en Turismo y Desarrollo Local*, 7(16), 55-59.
- Aroonsrimorakot, S., Yuwaree, C., Arunlertaree, C., Hutajareorn, R. y Buadit, T. (2013). Carbon footprint of faculty of environment and resource studies. *APCBEE Procedia*, 5, 175-180.
- Asociación Nacional de la Industria Química (2013). Análisis de ciclo de vida de vasos desechables en México. Disponible en <https://www.reciclaunicel.com.mx/media/1111/aniqinformeexecutivo-junio2013.pdf>
- Comisión Europea (2003). Comprender los gases efecto invernadero. Disponible en [http://ec.europa.eu/clima/sites/campaign/pdf/gases\\_es.pdf](http://ec.europa.eu/clima/sites/campaign/pdf/gases_es.pdf)

- Crutzen, P. y Stoermer, E. (2000). The "Anthropocene". *Global Change Newsletter*. International Geosphere-Biosphere Programme (IGBP) 41, 17-18.
- Dangelico, R. M., y Pujari, D. (2010). Mainstreaming green product innovation: Why and how companies integrate environmental sustainability. *Journal of Business Ethics*, 95(3), 471-486, doi: <https://doi.org/10.1007/s10551-010-0434-0>
- Dávila, F. y Varela, D. (2014). Determinación de la huella de carbono en la Universidad Politécnica Salesiana, Sede Quito, Campus Sur. Tesis de pregrado. Disponible en <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/6320>
- Downie, J. y Stubbs, W. (2013). Evaluation of Australian companies' scope 3 greenhouse gas emissions assessments. *Journal of Cleaner Production*. 56, 156-163. doi: 10.1016/j.jclepro.2011.09.010
- Duarte, C., Alonso, S., Benito, G., Dachs, J., Montes, C., Pardo Buendía, M. y Valladares, F. (2006). Cambio global: impacto de la actividad humana sobre el sistema tierra. Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). Madrid, España. Disponible en <http://www.csic.http://ocw.um.es/ciencias/avances-ecologicos-para-la-sostenibilidad-de-los/lectura-obligatoria-1/leccion13/duarte-et-al-2009.pdf>
- Etzkowitz, H. (1998). The norms of entrepreneurial science: Cognitive effects of the new university-industry linkages. *Res. Policy*, 27(8), 823-833, doi: [https://doi.org/10.1016/S0048-7333\(98\)00093-6](https://doi.org/10.1016/S0048-7333(98)00093-6)
- García, C., Barrera, X., Gómez, R. y Suárez R. (2015). El ABC de los compromisos de Colombia para la COP 21. 2.ª ed. WWF-Colombia. Disponible en [http://www.minambiente.gov.co/images/cambioclimatico/pdf/colombia\\_hacia\\_la\\_cop21/ABC\\_de\\_los\\_Compromisos\\_de\\_Colombia\\_para\\_la\\_cop21\\_VF\\_definitiva.pdf](http://www.minambiente.gov.co/images/cambioclimatico/pdf/colombia_hacia_la_cop21/ABC_de_los_Compromisos_de_Colombia_para_la_cop21_VF_definitiva.pdf)
- Güereca, L., Torres, N. y Noyola, A. (2013). Carbon footprint as a basis for a cleaner research institute in Mexico. *Journal of Cleaner Production*, 47, 396-403.
- Gómez, N., Cadarso, M. Á., y Monsalve, F. (2016). Carbon footprint of a university in a multiregional model: the case of the University of Castilla-La Mancha. *Journal of Cleaner Production*, 138, 119-130, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.06.009>
- Hannah, L. (2015). The Climate System and Climate Change. En *Climate Change Biology* (2.ª ed.). Disponible en <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-420218-4.00002-0>
- Huang, Y., Weber, C., y Matthews, S. (2009). Categorization of scope 3 emissions for streamlined enterprise carbon footprinting. *Environmental Science & Technology*, 43(22), 8509-8515.
- IDEAM, PNUD, MADS, DNP y Cancillería (2015). Inventario nacional de gases efecto invernadero (GEI) de Colombia. Presentado en Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático de Colombia. Bogotá. Colombia.
- IPCC. (2007). *Cambio climático 2007: informe de síntesis*. Contribución de los grupos de trabajo I, II y III al Cuarto informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el cambio climático. Disponible en [https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4\\_syr\\_sp.pdf](https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_sp.pdf)
- IPCC. (2014). Summary for policymakers. En *Climate Change 2014: Synthesis Report*. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Disponible en <https://doi.org/10.1017/cbo9781107415324>
- Isagén (2016). Generación de energía. Disponible en [https://www.isagen.com.co/SitioWeb/html/informe-de-gestion/2016/pdf/Generacion\\_energia.pdf](https://www.isagen.com.co/SitioWeb/html/informe-de-gestion/2016/pdf/Generacion_energia.pdf)
- ISO 14064-1/2/3. (2006). Greenhouse gases: parts 1 Specification with guidance at the

- organization level for quantification and reporting of greenhouse gas emissions and removals. Disponible en <https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:14064:-1:ed-1:v1:es>
- Isham, J., Del Negro, L. y Bission, C. (2003). Carbon neutrality at Middlebury College: A compilation of potential objectives and strategies to minimize campus climate impact. Draft prepared for the carbon reduction initiative at Middlebury College. 185 p. Disponible en <http://www.middlebury.edu/system/files/media/CN%20at%20MiddObjectivesandStrategies%202003.pdf>
- Jorge, J. y Busquets, P. (2003). Aproximación a la huella ecológica de la Escuela Universitaria Politécnica de Manresa. España. 10p. Disponible en [https://www.researchgate.net/publication/268008202\\_APROXIMACION\\_A\\_LA\\_HUELLA\\_ECOLOGICA\\_DE\\_LA\\_ESCUELA\\_UNIVERSITARIA\\_POLITECNICA\\_DE\\_MANRESA\\_UPC](https://www.researchgate.net/publication/268008202_APROXIMACION_A_LA_HUELLA_ECOLOGICA_DE_LA_ESCUELA_UNIVERSITARIA_POLITECNICA_DE_MANRESA_UPC)
- Larsen, H., Pettersen, J., Solli, C. y Hertwich, E. (2013). Investigating the carbon footprint of a University: The case of NTNU. *Journal of Cleaner Production*, 48, 39-47.
- Lee, D., Fahey, D., Forster, P., Newton, P., Wit, R., Lim, L., Owen, B. y Sausen, R. (2009). Aviation and global climate change in the 21<sup>st</sup> century. *Atmospheric Environment*, 43 (22-23), 3520-3537. DOI:10.1016/j.atmosenv.2009.04.024.
- Li, X., Tan, H. y Rackes, A. (2015). Carbon footprint analysis of student behavior for a sustainable university campus in China. *Journal of Cleaner Production*, 106, 97-108.
- Mercader, M., Ramírez de Arellano, A. y Olivares, M. (2012). Modelo de cuantificación de las emisiones de CO<sub>2</sub> producidas en edificación derivadas de los recursos materiales consumidos en su ejecución. *Informes de la Construcción*, 64(527), 401-414.
- Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente. (2017) ¿Qué es el cambio climático y cómo nos afecta? Disponible en <http://www.mapama.gob.es/es/cambio-climatico/temas/que-es-el-cambio-climatico-y-como-nos-afecta/>
- Ministerio de Educación Nacional (2016). Educación en Colombia. Disponible en [http://www.mineducacion.gov.co/1759/articles-356787\\_recurso\\_1.pdf](http://www.mineducacion.gov.co/1759/articles-356787_recurso_1.pdf)
- Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital (2016). Informe Anual 2016, análisis y planes de actuación. Información sobre el gas natural. Disponible en <http://www.minetad.gob.es/energia/gas/Gas/Paginas/gasnatural.aspx>
- Mondéjar, M., Viñoles, R., Bastante, M., Collado, D. y Capuz, S. (2011). La huella de carbono y su utilización en las instituciones universitarias. Ponencia presentada en el XV Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos. Valencia, España.
- Myhre, G., B.H. Samset, M. Schulz, Y. Balkanski, S. Bauer, T.K. *et al.* (2013). Radiative forcing of the direct aerosol effect from AeroCom Phase II simulations. *Atmos. Chem. Phys.*, 13, 1853-1877, doi: <http://doi:10.5194/acp-13-1853-2013>.
- National Aeronautics and Space Administration. (2017). Climate change: How do we know? Disponible en <http://climate.nasa.gov/evidence/>
- Robinson, O. J., Tewkesbury, A. Kemp, S. y Williams, I. (2017). Towards a universal carbon footprint standard: A case study of carbon management at universities. *Journal of Cleaner Production*, *in press*, doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.02.147>
- Rodas, S. (2014). *Estimación y gestión de la huella de carbono del campus central de la Universidad Rafael Landívar* (tesis de pregrado). Universidad Rafael Landívar, Guatemala.
- Ozawa-Meida, L., Brockway, P., Letten, K., Davies, J. y Fleming, P. (2013). Measuring carbon performance in a UK University through a consumption-based carbon footprint: de Montfort University case study. *Journal of*

- Cleaner Production*, 56,185-198, doi: 10.1016/j.jclepro.2011.09.028.
- Parga, M., y Romero, R. (2013). *Ecología: impacto de la problemática ambiental actual sobre la salud y el ambiente*. Colombia: Ecoe Ediciones.
- Secretaría de Movilidad de Bogotá D. C. (2015). Estudio movilidad en cifras 2015. Disponible en [http://www.movilidadbogota.gov.co/web/SIMUR/ARCHIVOS/Movilidad\\_Cifras\\_2015\\_V4\\_marzo2017.pdf](http://www.movilidadbogota.gov.co/web/SIMUR/ARCHIVOS/Movilidad_Cifras_2015_V4_marzo2017.pdf).
- Schneider, H. y Samaniego, J. (2009). *La huella del carbono en la producción, distribución y consumo de bienes y servicios*. Santiago de Chile: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (Cepal).
- Sistema de Información Eléctrico Colombia (s. f.). Descripción del sistema eléctrico colombiano. Disponible en <http://www.xm.com.co/Paginas/Mercado-de-energia/descripcion-del-sistema-electrico-colombiano.aspx>
- Toro, A., Gomera, A., Aguilar, J., Guijarro, C., Antúnez, M. y Vaquero, M. (2015). *La huella de carbono de la Universidad de Córdoba 2015*. España: Servicio de Protección Ambiental, Dirección General de Prevención y Protección Ambiental, Vicerrectorado de Coordinación Institucional e Infraestructuras, Universidad de Córdoba.
- Unidad de Planeación Minero Energética (2016). Factores de emisión de combustibles colombianos. Disponible en [http://www.upme.gov.co/Calculadora\\_Emisiones/aplicacion/calculadora.html](http://www.upme.gov.co/Calculadora_Emisiones/aplicacion/calculadora.html)
- Utaraskul, T. (2015). Carbon footprint of environmental science students in Suan Sunandha Rajabhat University, Thailand. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 197, 1156-1160.
- World Resources Institute y The World Business Council for Sustainable Development (WRI y WBCSD) (2013). The greenhouse gas protocol (GHG Protocol). Disponible en <http://www.ghgprotocol.org/sites/default/files/ghgp/standards/ghg-protocol-revised.pdf>
- World Resources Institute y World Business Council for Sustainable Development (WRI y WBCSD) (2013). Technical guidance for calculating scope 3 emissions. Supplement to the corporate value chain (scope 3) accounting & reporting standard. Disponible en [http://www.ghgprotocol.org/sites/default/files/ghgp/standards/Scope3\\_Calculation\\_Guidance\\_0.pdf](http://www.ghgprotocol.org/sites/default/files/ghgp/standards/Scope3_Calculation_Guidance_0.pdf)

# La apropiación social del conocimiento, un impulsor de la innovación: caso Asociación Horfrubella, Pereira (Risaralda)

## The social appropriation of knowledge a driver of innovation: Case Association Horfrubella, Pereira (Risaralda)

Carolina Díaz González

Programa de Agroindustria, Grupo Gerencia Agrícola, Facultad de Ciencias Administrativas y Desarrollo Rural, Unisarc, Santa Rosa de Cabal, Colombia  
<http://orcid.org/0000-0002-9089-9499>  
[agroindustria@unisarc.edu.co](mailto:agroindustria@unisarc.edu.co)

Fecha de recepción: 18 de agosto de 2017

Fecha de aceptación: 15 de octubre de 2017

**Sugerencia de citación:** Díaz González, C. (2017). La apropiación social del conocimiento, un impulsor de la innovación: caso Asociación Horfrubella, Pereira (Risaralda). *Mutis*, 7(2), 59-74, doi: <http://dx.doi.org/10.21789/22561498.1248>

**Editor:** Hernández Fernández, J. [javier.hernandez@utadeo.edu.co](mailto:javier.hernandez@utadeo.edu.co)

## RESUMEN

¿Cuáles son las estrategias de apropiación social del conocimiento evidenciadas en la Asociación Horfrubella que han impulsado la innovación en la producción de mora? Este es el interrogante de la presente investigación, que toma como unidad de estudio la Asociación Horfrubella del municipio de Pereira; por ser un caso exitoso de escalonamiento agroindustrial y apropiación de tecnología de punta en el departamento de Risaralda. Para lograr el objetivo se realizó la identificación de la innovación en la producción de mora por los agricultores vinculados a Horfrubella; se utilizaron para ello herramientas diseñadas por la Red RAET de varias universidades (de Medellín, Jorge Tadeo Lozano, de los Llanos y de Córdoba) y Colciencias en el libro *Medición de la innovación agropecuaria en Colombia*, como las encuestas de desarrollo e innovación tecnológica (Eniagro) y la matriz de innovación (MI). Dichas herramientas fueron aplicadas a diecisiete productores de mora de la asociación. Posteriormente, con el fin de identificar las estrategias de apropiación social del conocimiento que apalancaron los procesos de innovación en la asociación Horfrubella, se realizaron entrevistas a los productores y un taller siguiendo la metodología ZOPP (planificación de proyectos orientada por objetivos). Los resultados obtenidos evidencian las estrategias que implementó esta asociación de productores para generar innovación con el fin de crear valor agregado en procesos agroindustriales, y así llegar a garantizar canales de comercialización consolidados que han mejorado la calidad de vida de los asociados y han ampliado las oportunidades laborales de los mismos.

**Palabras clave:** tipos de innovación, gestión del conocimiento, agroindustria, medición de la innovación.



## ABSTRACT

What are the strategies of social appropriation of knowledge evidenced within the Horfrubella Association that have driven innovation in the blackberry production? This is the question of the present investigation, that is based in the Association of Horfrubella of the Municipality of Pereira, for being a successful case of agroindustrial staggering and appropriation of state-of-the-art technology in the department of Risaralda. In order to achieve this objective, the identification of innovation in the blackberry production by Horfrubella farmers was carried out using tools designed by the RAET Network of the various Universities (Universidad de Medellín, Universidad Jorge Tadeo Lozano, Universidad de los Llanos and Universidad of Córdoba) and Colciencias in the book *Medición de la innovación agropecuaria en Colombia (Measurement of Agricultural Innovation in Colombia)*, such as: *encuestas de desarrollo e innovación tecnológica* (surveys of technological development and innovation); (Eniagro) and the matrix of innovation (MI), these tools were applied to 17 producers of blackberry of the Association. Subsequently to identify the strategies of social appropriation of knowledge that leveraged the innovation processes within the Horfrubella Association, interviews were conducted with the producers and a workshop under the ZOPP methodology *planificación de proyectos orientada por objetivos* (objective oriented project planning). The results show the strategies implemented by this association of producers to generate innovation in order to create added value in agroindustrial processes and thus to ensure consolidated marketing channels and have improved the quality of life of partners and expanded opportunities labor relations.

**Keywords:** Types of innovation, knowledge management, agroindustry, measurement of innovation.

## INTRODUCCIÓN

En Colombia, desde finales del siglo xx, las empresas vienen enfrentándose a desafíos empresariales derivados de la globalización (el sistema arancelario, la legislación y las políticas laborales, el régimen cambiario, la política de inversión extranjera, el sistema financiero, los programas de inversión pública y la organización del aparato estatal), al igual que al desarrollo de las tecnologías de la información y comunicación (TIC), (Universidad del Rosario, 2016), lo cual ha generado un estancamiento en la actividad empresarial del país y la deserción de pequeñas y medianas empresas, al igual que la baja productividad y competitividad (Tarapuez, Guzmán y Parra, 2016). Esto se ve reflejado en la ubicación de Colombia en el *Anuario mundial de competitividad 2016*, en el cual se encuentra en el puesto 51 entre 61 economías medidas, sin ningún cambio respecto al año anterior, y con un descenso significativo en el factor de eficiencia empresarial (-4) (Departamento Nacional de Planeación, 2016). Esto exige a las empresas colombianas crear las condiciones necesarias para alcanzar venta-

jas competitivas con el tiempo, y algunas de estas son los intangibles, como el capital intelectual que propicia el desarrollo de la innovación (Calix, Vigier y Briozzo, 2015).

Respecto a la innovación de las empresas colombianas, según el Observatorio Colombiano de Ciencia y Tecnología, “Empresas innovadoras en sentido estricto en el país son muy pocas, y el número ha venido disminuyendo. Colombia se concentra en empresas no innovadoras”, tal como explica Clara Inés Pardo, directora del Observatorio Colombiano de Ciencia y Tecnología.

El 76.6 % de las empresas colombianas están consideradas como no innovadoras, e innovadoras en sentido amplio solo el 19.23 %, y en sentido estricto, solo 0.1%, es decir, casi nada; apenas nueve empresas innovan en sentido estricto (Jorge, Guevara, Perea, Romero, Ramírez y Castellanos, 2016). Es por esta razón que realizar mediciones de los procesos de innovación en las empresas es relevante. Con el objeto de conocer cómo se llega a la innovación y cuáles son las estrategias que son asertivas, al autor le surgen dos

interrogantes: ¿cómo se generan los procesos de innovación en las organizaciones que desarrollan la agroindustria rural, en este caso, Horfrubella? ¿Es la apropiación del conocimiento un factor determinante de la innovación en el desarrollo de agroindustrias rurales, como en el caso Horfrubella? Se orientó la investigación al análisis de las estrategias de apropiación social del conocimiento que ha implementado la Asociación Horfrubella, del municipio de Pereira, que le han permitido innovar en sus procesos y productos agroindustriales derivados de la mora. Los productos agrícolas se enfrentan a cambios tecnológicos, de mercado y nuevas tendencias de consumo, u otros factores que los obligan a generar estrategias para mejorar los indicadores de eficiencia, optimización, sostenibilidad, rentabilidad y menor riesgo, al desarrollo de productos y a la búsqueda de nuevos mercados, lo cual no solo implica riesgos para los individuos, sino que crea retos en los modelos organizativos que se llevan a cabo (FAO, 2013).

La Asociación Horfrubella está conformada por diecisiete productores de mora de castilla (*Rubus glaucus*), que ejercen su actividad en las veredas La Bella, La Florida, El Rincón, La Colonia, Vista Hermosa y el sector de La Oreja, que conforman el corregimiento La Bella, localizado sobre la vertiente occidental de la cordillera Central, en la cuenca alta del río Consotá, área correspondiente al sector nororiental del municipio de Pereira, y tiene una superficie total de 2506.46 ha (Asamblea departamental de Risaralda, 2012).

Horfrubella fue creada en marzo del año 2009 como respuesta a la inquietud de varios agricultores por diversificar el cultivo de cebolla. Fue así como veinticinco productores agrícolas vieron en la mora una alternativa para cultivar en sus fincas. Sin embargo, en el año 2015, el grupo se redujo a diecisiete agricultores que producen un promedio de diez toneladas de mora a la semana, las cuales entregan a la Asociación.

Así pues, se debe entender la apropiación del conocimiento como un aprendizaje social en el que se lleva a cabo un proceso continuo de generación del conocimiento, y cada organización lo construye a partir de su capacidad de acción (Marín, 2012). Es

por medio de la adquisición y el desarrollo de conocimiento y de la consolidación de su capacidad para generar nuevo conocimiento que la organización puede generar innovación (Chaparro, 2001), y esto se evidencia en el análisis que se realizó en la organización Horfrubella.

Por esto se planteó como objetivo general de la presente investigación el análisis de las estrategias de apropiación social del conocimiento evidenciadas en la Asociación Horfrubella, que han generado innovación en el sistema agroindustrial de la mora, para lo cual se identificó la innovación generada en el proceso de escalonamiento agroindustrial de los productos de mora vinculados a la Asociación, se establecieron las variables relacionadas con la apropiación social del conocimiento y la innovación y se reconocieron las estrategias de apropiación social del conocimiento empleadas por la Asociación.

Por tanto, en el primer apartado se muestra la investigación realizada, en la que por medio de la matriz de innovación (MI) se caracterizan las innovaciones realizadas llevadas a cabo por la Asociación Horfrubella, y mediante la metodología ZOPP se identificaron las estrategias de apropiación del conocimiento; en el segundo apartado se presentan los principales hallazgos, y, finalmente, se esbozan las conclusiones de la investigación.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El diseño de la investigación se ajustó a un estudio de tipo descriptivo, con empleo de herramientas de naturaleza cualitativa y cuantitativa (Bernal, 2010; Scribano, 2007). Como unidad de análisis se señaló a los diecisiete productores de mora (*Rubus glaucus*) pertenecientes a la Asociación Horfrubella, quienes fueron la fuente de la información primaria.

Así pues, para la identificación de la innovación generada se emplearon dos herramientas presentadas en el libro *Medición de la innovación agropecuaria en Colombia*, del 2013, producto de una investigación desarrollada entre los años 2010 y 2012 con el fin de abordar el problema de la innovación en el ámbito específico del sector agropecuario colombiano; la obra

fue cofinanciada por Colciencias y la Red RAET de Universidades, conformada en este caso por la Universidad Jorge Tadeo Lozano, la Universidad de Medellín, la Universidad de Córdoba y la Universidad de los Llanos. La Red RAET contó con la cooperación de colegas del mundo involucrados en el tema de la medición de la innovación en la industria agroalimentaria. Las herramientas empleadas fueron la encuesta de innovación agropecuaria, identificada como Eniagro, estructurada en diez capítulos que agrupan un total de 75 preguntas, y la matriz de innovación (MI), diseñada para presentar de manera organizada y sistémica todas y cada una de las innovaciones mencionadas en la encuesta, por lo cual se constituye en una fuente de información para la gestión tecnológica y es un punto de referencia para análisis históricos y estudios de seguimiento. Además, se llevó a cabo una entrevista estructurada a partir de preguntas planteadas en el marco del diplomado de Apropiación Social de la Ciencia, Tecnología e Innovación para el Desarrollo Humano, de Colciencias (Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación).

Igualmente, para el reconocimiento de las estrategias de apropiación social del conocimiento se realizaron análisis de involucrados y un árbol del problema, ambos planteados en la metodología ZOPP mediante un taller participativo y el empleo de la técnica de calculadora de papel (Acción Social, 2006).

## RESULTADOS

### Identificación de la innovación en el sistema productivo de mora de los agricultores vinculados a Horfrubella

El proceso de apropiación del conocimiento de la Asociación Horfrubella comenzó en el 2010 con la formación de los productores, que desarrollaron las destrezas y los conocimientos necesarios para iniciar el cultivo de la mora, y en el 2011 se dio inicio a la siembra. Según datos suministrados por el presidente de Horfrubella, en la entrevista personal realizada en el 2015, se llegó a planear la siembra de catorce hectáreas, y se establecieron 10.5 toneladas en producción entre los veinticinco asociados.

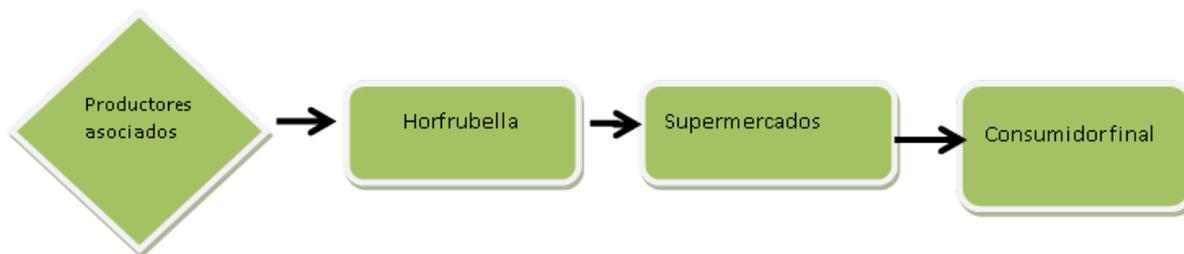
En su proceso de consolidación como productores, la Asociación se enfrentó a los problemas inherentes a la comercialización, y se encontró con variaciones del precio y la demanda en una cadena productiva en la que la comercialización de mora en el país presenta un alto nivel de intermediación, con pocos mayoristas especializados, y encontró que las compras del fruto fresco se realizan en las plazas mayoristas de los municipios, los acopiadores rurales y otros mayoristas. Sujetos a la determinación del precio por la ley de oferta y demanda, los miembros de la asociación definieron cuatro canales de distribución para este producto, dependiendo del mercado final: 1) Acopiador-mayorista-detallista, 2) proveedor-supermercado, 3) mayorista-agroindustria, y 4) asociaciones de productores-agroindustria.

Se logró la estabilidad cuando la comercialización se realizó siguiendo el esquema de productores-transformadores. Este es el esquema de comercialización que lleva a cabo la mayoría de las asociaciones de moreros de Risaralda por medio de alianzas productivas con empresas transformadoras, como las asociaciones de Santa Rosa de Cabal y Guática, que comercializan el 100 % de su producto en fresco a empresas procesadoras de jugos, principalmente Postobón, aunque en ocasiones, cuando tienen sobreoferta del producto, acuden a otras procesadoras, como Alpina y Meals de Colombia.

El 100 % de los productores considera que no tienen capacidad de negociación, a pesar de estar asociados, porque los transformadores son grandes empresas que fijan las condiciones de calidad y precio de compra; ejemplo de ello son las condiciones de Postobón, que recibe aproximadamente cuatrocientas toneladas mensuales de mora y paga a los treinta días.

En el caso de Horfrubella, el modelo de negocio opera de forma diferente: se ha logrado eliminar eslabones de intermediación, como se aprecia en la figura 1.

**Figura 1.** Canales de comercialización de mora de Horfrubella



Este modelo comercial se ha dado como respuesta a la introducción de la tecnología de ultracongelado, iniciativa impulsada por entidades públicas, como la Universidad Tecnológica de Pereira (UTP), la Alcaldía de Pereira y la Gobernación de Risaralda, que apoyaron la realización de estudios de mercado y financiaron la adquisición de la tecnología, lo cual garantizó un nuevo modelo de comercialización, que contribuye a disminuir la pérdida poscosecha de producto en fresco, que era uno de los mayores problemas que tenían los productores de la Asociación. Esto se realizó con la presentación de dos proyectos, el primero en el año 2012 y el segundo en el 2014.

La problemática relacionada con la pérdida poscosecha no es ajena a los demás productores agrícolas de Colombia, que ven cómo sus productos se deterioran y pierden condiciones de calidad, efecto que se refleja en un mal aprovechamiento de los recursos, insumos y esfuerzos empleados durante la producción, lo que genera pérdidas económicas cercanas al 15 % en los países desarrollados y al 45 % en los países en vías de desarrollo (Leibovich y Estrada, 2008). Esto reduce la competitividad y, por tanto, restringe las posibilidades de mejorar las condiciones de vida de los actores de las cadenas productivas en particular, y, en general, de la población (Comisión Regional de Competitividad de Risaralda, 2010).

Luego, ante la oportunidad de tecnificación del proceso de poscosecha y de adquirir tecnología, en el año 2010 la empresa adquirió un equipo de ultracongelación de diez bandejas con capacidad de 33 kilos de mora, financiado por la Alcaldía de Pereira y la Gobernación de Risaralda. En la primera etapa del proceso, la empresa proveedora del equipo capacitó a los productores con el fin de estandarizar el proceso, mo-

mento difícil para los productores, ya que desconocían totalmente la tecnología.

Cabe destacar que una de las fortalezas de la Asociación Horfrubella es la participación de los asociados en la formulación de los proyectos, estrategia que ha hecho que la Asociación llegue a identificar sus problemas y soluciones. Igualmente, otro factor diferenciador es que los directivos y gran parte de los asociados son personas con estudios superiores que están inmersos en procesos investigativos, lo que ha hecho que manejen un lenguaje en común en los procesos de intercambio y transferencia de tecnología, lo cual ha acercado la ciencia a los procesos productivos de Horfrubella. Este es un factor de éxito, porque implica la creación de espacios de debate en los que el conocimiento científico y técnico es parte de los bienes de esta asociación, ya que se evidenció cómo, por medio de procesos de experimentación y aprendizaje, se crearon conductas que cambiaron la concepción productiva de los asociados. Esta práctica está relacionada con lo concebido en los procesos de ASCYT, en los que, mediante mecanismos de comunicación e interacción con todos los agentes sociales, se pueden convertir no solo en usuarios, sino en actores de su producción (Tafur, 2010).

La estrategia de participación en convocatorias y formulación de proyectos le ha permitido a Horfrubella un continuo proceso de tecnificación. Repitió la experiencia en el año 2013 con la Alcaldía de Pereira, así adquirió un nuevo ultracongelador de quince bandejas de 50 kilos, que ha posibilitado el aumento del porcentaje de la capacidad de producción, y disminuido el 40 % de riesgo de pérdida del producto fresco. Antes de la adquisición de esta tecnología, el

100 % de la mora se vendía en fresco en supermercados a un valor de \$ 1800 el kilo, con poca ganancia para el agricultor y pérdidas muy altas para la empresa; con los dos ultracongeladores se está vendiendo el 95 % de la mora en esta presentación, a un precio de \$ 4100 el kilo, lo que ha llevado a la asociación a generar una garantía de pago mediante la compra

de la mora en fresco al agricultor en un promedio de \$ 2200, y tras realizar el proceso de ultracongelado se vende a \$ 4100. La diferencia es utilizada para garantizar el pago de contado al agricultor y cubrir los gastos administrativos y de producción del proceso de ultracongelado.

**Tabla 1.** Procesos de transferencia tecnológica en Horfrubella

Innovación	Fecha	Descripción	Institución involucrada
Implementación del proceso de ultracongelación para mora.	2010	Acceder a tecnología de ultracongelación con el objetivo de aumentar la vida útil de la mora.	Gobernación de Risaralda y Alcaldía de Pereira.
Implementación de buenas prácticas agrícolas en los cultivos.	2012	Mejorar las condiciones de los cultivos y la poscosecha de la mora.	DPS
Ultracongelación.	2013	Se buscó ampliar el sistema de ultracongelación con el fin de cubrir el 95 % del mercado local.	Oportunidades Rurales y Alcaldía de Pereira.
Nueva presentación de cebolla y cilantro. Diversificación de cultivos.	2015	Desarrollo de cebolla limpia y cilantro sin raíz con el objeto de ampliar la variedad de productos.	Alcaldía de Pereira.

Fuente: el autor

## Clasificación y mapa de innovaciones en Horfrubella

Para la clasificación de las innovaciones presentadas por la asociación y sus asociados se utilizaron dos métodos:

Se realizó la clasificación de las innovaciones realizadas por la Asociación Horfrubella con base en lo planteado en el *Manual de Oslo* (2005), que define innovación según lo citado en (UNED, 2010):

Una innovación es la introducción de un nuevo o significativamente mejorado producto, de un proceso o de un nuevo método de comercialización o de un nuevo método organizativo de las

prácticas internas de la empresa, o las relaciones exteriores; en estos casos, las innovaciones tecnológicas se refieren al producto y al proceso (innovaciones TPP), entendiendo la innovación como la creación de nuevos productos o servicios o la mejora de las características, prestaciones y calidad de los existentes. (p. 58)

La innovación de proceso supone la introducción de nuevos procesos de producción o la modificación de los ya existentes; su objetivo principal es la reducción de costos (Hidalgo, 2008). El objetivo del *Manual de Oslo* es proporcionar las pautas para la recopilación y la interpretación de los datos sobre innovación, así como dar respuesta a las distintas aplicaciones de estos.

**Tabla 2.** Clasificación de la innovación por el Manual de Oslo: Asociación Horfrubella

Innovación de proceso	Innovación de producto	Innovación de mercadotecnia
Ultracongelación de mora mediante máquinas abatidoras de enfriamiento; diversificación de cultivos enfocada en hortalizas.	Mora y fresa ultracongeladas y nueva presentación de cebolla y cilantro.	Alianzas con otras asociaciones para acceder a nuevos mercados.
Implementación de buenas prácticas agrícolas y buenas prácticas de manufactura.		
Uso de equipos de aceros inoxidable.		

Fuente: el autor

**Clasificación de innovaciones para productores de mora, matriz de innovación RAET.** La clasificación de las innovaciones hechas por el agricultor se realizó a través de la MI, que es un instrumento estructurado y desarrollado sobre la plataforma de Microsoft Office Excel® para organizar de manera sistémica y sintética la información relacionada con las innovaciones alcanzadas por medio de la aplicación de la encuesta de innovación agropecuaria Eniagro©.

La Eniagro© se aplicó a unidades productivas independientes o enmarcadas en modelos de organización empresarial más complejos (por ejemplo, integración vertical), siempre recabando las innovaciones propias de la producción primaria (eslabón de productores). Esta información va a una matriz de innovación (MI), cuyo núcleo de análisis es la innovación, y no la empresa; sin embargo, en su conjunto, la estructura de la MI está constituida horizontalmente por filas que contienen en su extensión el detalle de cada innovación según los diferentes ejes de interés analítico, y verticalmente, por columnas que representan, por una parte, dichos ejes de análisis, y por otra, la lista de innovaciones identificadas para cada productor encuestado.

**El paradigma de la eficiencia.** La mayor parte de las innovaciones alcanzadas se agrupan en el paradigma de la eficiencia y están dirigidas a mejorar los procesos de producción. La mayoría de los productores manifestaron la necesidad de realizar innovaciones que tuvieran impacto en la reducción de costos de producción y el aumento de la productividad. Se encontraron

innovaciones relacionadas con sistemas de fertirriego, nuevos fertilizantes, evaluación de requerimientos nutricionales de las especies vegetales, evaluación de momentos de aplicación y dosis, e incorporación de abonos orgánicos. Estas innovaciones responden, por una parte, a los altos precios del petróleo, que implican precios mayores de los agroquímicos, y por otra, a la revaluación del peso, que encarece el producto agrario en el mercado mundial. Se pudo observar que, al igual que en el estudio realizado en la medición de la innovación agropecuaria, los agricultores asociados a Horfrubella tienen mayor orientación hacia innovaciones asociadas al paradigma de la eficiencia.

**El paradigma de calidad.** El paradigma de calidad ocupa el segundo lugar en importancia en la lista de innovaciones. En términos generales, aunque las innovaciones en calidad son escasas, son las más significativas en valoración, ya que, de cuatro innovaciones presentadas, tres tienen una valoración intermedia y una tiene una valoración mayor. El hecho de que los agricultores hayan desarrollado procesos de poscosecha y empaque, al igual que la implementación de buenas prácticas agrícolas, hace que este paradigma crezca con el tiempo.

Estos resultados sugieren el desarrollo de una nueva cultura: la de la calidad, fundamentada en la educación de todos los eslabones de las cadenas productivas. De tal forma, Horfrubella ha venido introduciendo un nuevo producto con características de calidad superior de la habitual en el mercado.

**El paradigma de la sostenibilidad.** La sostenibilidad ambiental y social es el ítem que ocupa el tercer lugar en la lista de innovaciones identificadas. Estos avances reflejan la comprensión de que la sostenibilidad es un componente de la competitividad. De alguna manera también refleja el compromiso de los agricultores con esta temática, crucial en el desarrollo socioeconómico de los territorios y protagonista del debate actual en el país y en el mundo. La mayoría de los productores están en proceso de implementación de buenas prácticas agrícolas, y existe un productor en proceso de certificación Global-gap. Estas labores están relacionadas con acciones de sostenibilidad.

**El paradigma de la información.** El paradigma de la información abarca los procesos de gestión de la información (técnica, contable, financiera, de mercado) relacionada con el negocio, y es un insumo significativo para orientar la toma de decisiones en las empresas y reducir la incertidumbre. Aunque los empresarios han venido incorporando procesos de implementación de buenas prácticas agrícolas, se les dificulta llevar registros, y todavía no conciben los procesos contables como un requisito elemental, lo cual dificulta la toma de decisiones en el análisis de costos y dificulta implementar y evaluar los cambios (innovaciones) en los procesos de producción y comercialización.

**El paradigma de las transacciones.** El paradigma de las transacciones es uno de los de mayor importancia en el sistema productivo de la zona evaluado, ya que se puede plantear que la Asociación Horfrubella viene trabajando un modelo transaccional que difiere del planteado por la misma cadena productiva de la zona a escala nacional, como el que llevan a cabo las otras asociaciones del departamento, lo cual revela la presencia de un modelo de organización empresarial y arreglos contractuales novedosos, si se comparan con los presentados por el estudio *Medición de la innovación agropecuaria* y los que llevan a cabo las demás organizaciones de productores de zona del departamento. Este modelo ha sido protagonista en la introducción de nuevas tecnologías y ha planteado garantías comerciales y de precio que han sido la base para que el modelo innovador de Horfrubella se mantenga con el tiempo.

## CAMPOS DE INNOVACIÓN

En este apartado se analizan las innovaciones reportadas por los empresarios encuestados, esta vez desde una nueva perspectiva: los campos o áreas de innovación. En la primera parte de este apartado se hace una descripción de los campos identificados; luego, se analizan cuantitativamente las innovaciones identificadas en cada campo, para finalizar con la frecuencia con la que los productores encuestados las adoptan.

**Tabla 3.** Distribución de las innovaciones por campo

Campo de innovación	Número de innovaciones	Porcentaje de innovaciones
Organización de la producción	5	16 %
Cambios en productos y gestión de clientes y mercados	5	16 %
Nutrición	4	12 %
Otras prácticas agropecuarias	3	9.6 %
Manejo ambiental	3	9.6 %
Sanidad	3	9.6 %
Recursos humanos	2	6.4 %
Vínculos externos y redes	2	6.4 %
Registros, indicadores y trazabilidad	2	6.4 %
Material genético y técnicas de reproducción	1	3.22 %
Requerimientos hídricos y sistemas de suministro	1	3.22 %

Fuente: el autor

La tabla 3 expone la distribución por campos de innovación, en la que el 53 % de los asociados de Horfrubella apuestan más por campos de innovación relacionados con la competitividad, como organización, cambios en productos y gestión de clientes y mercados, nutrición y otras prácticas agropecuarias, lo que está más asociado a organizaciones empresariales consolidadas y difiere del enfoque que presentaron las cadenas medidas en el *Libro de medición de la innovación agropecuaria en Colombia*, el 52 % de las cuales tienen concentrados sus campos en la organización de la producción, otras prácticas, nutrición, sanidad y manejo ambiental.

Con el objeto de identificar las estrategias de apropiación social del conocimiento que apalancaron los procesos de innovación de la Asociación Horfrubella se

realizaron entrevistas y un taller según la metodología ZOPP (Acción social, 2006).

**Análisis de involucrados.** Para este análisis se definió a los agricultores con una descripción de sus características e intereses. Las variables de categorización fueron participación ciudadana, gestión del conocimiento, comunicación de la ciencia y tecnología y transferencia del conocimiento.

**Análisis de problemas.** Se trata de una técnica participativa que permite analizar el problema central, sus causas y consecuencias. A partir de una lluvia de ideas realizada con representantes de los actores involucrados, el análisis permite determinar los objetivos, componentes y actividades, sea con la definición del árbol de objetivos o de alternativas de solución.

Tabla 4. Cuadro de análisis de problemas

Familia de problemas	A Desconocimiento de herramientas para acceder a recursos para el financiamiento de proyectos	B Falta de alternativas de comercialización	C Escaso conocimiento y poca tecnología	D Escasa cultura de cambio e innovación
	Desconocimiento de la oferta y demanda de convocatorias.	No existen garantías en la comercialización.	No se tiene conocimiento de procesos agroindustriales.	No se ha implementado una cultura de cambio.
	No se tienen los recursos para comprar equipos y maquinaria adecuados.	Mucha oferta, baja calidad de la fruta, pocos compradores.	No se conocen los procesos adecuados de poscosecha.	Los agricultores tienen mucha resistencia al cambio.
	Se tiene poca formación sobre formulación de proyectos.	Escasa capacidad de negociación y cumplimiento de las cuotas de producción.	No se les ofrece a los agricultores suficiente capacitación.	Los agricultores son muy dados a seguir procesos ya establecidos.
	Poco acompañamiento de entidades externas en la formulación de proyectos.	Desconocimiento de las reglas del juego y las condiciones de negociación.	Falta tecnología de punta y recurso humano calificado.	El agricultor no cree en el conocimiento de muchos profesionales. Falta especialización.
		Las empresas comercializadoras ponen las condiciones de manera unilateral.	No conocen ni tienen formación en empaques o nuevas formas de preparación ni presentación del producto.	

Fuente: Elaboración del autor a partir del archivo *Manual de formulación proyecto* (Acción Social, 2006)

Se realizó un mapa de problemas a partir de este interrogante: ¿Qué problemas existen en la Asociación Horfrubella que impidan la innovación en el proceso productivo?

Luego de una lluvia de ideas, en la que los participantes respondieron la pregunta formulada, se obtuvo la siguiente información, clasificada por grupos de problemas.

Esta clasificación consistió en organizar las ideas mediante la conformación de grupos de problemas similares (familias de problemas).

Identificar cada grupo de problemas y darle un nombre. Esto determina el título de cada grupo de problemas.

Ampliar, con una frase explicativa, lo que significa cada grupo de problemas (Acción Social, 2006).

**Análisis sistémico.** Con el propósito de conocer y analizar cuáles son las variables relevantes en un análisis de situación como el planteado en el punto anterior, y a partir de la consideración de que la realidad social es sistémica, se realizó un análisis de la interrelación entre cada una de las variables del problema.

Definición de las variables:

A. Recursos: desconocimiento de herramientas para acceder a recursos para el financiamiento de proyectos

B. Comercialización: faltan alternativas de comercialización

C. Conocimiento y tecnología: escaso conocimiento y poca tecnología

D. Cultura de cambio e innovación: escasa cultura de cambio e innovación

La interrelación de las variables entre sí se realizó mediante el mecanismo llamado “computadora de papel”, que consiste en calificar de cero a tres la influencia que tiene cada variable sobre las demás, así:

0 = Influencia nula

1 = Influencia mínima

2 = Influencia mediana

3 = Influencia máxima

Tabla 5. Análisis de recursos

VARIABLES PROBLEMA	A	B	C	D	TA
A. Recursos	X	3	3	0	6
B. Comercialización	3	X	3	1	7
C. Conocimiento y tecnología	3	3	X	1	7
D. Cultura de cambio e innovación	3	2	3	X	8
TP	9	8	9	2	

En donde TA = total activo (influencia) y TP = total pasivo (dependencia)

Fuente: Manual de formulación proyectos de cooperación internacional (Acción Social, 2006)

Esto arroja un total activo, o sea, el grado de influencia de cada variable sobre el resto, lo cual se observa con el sumatorio horizontal de cada variable, y un total pasivo, o sea, el grado de dependencia de cada variable de todas las demás, con el sumatorio vertical de cada variable (Acción Social, 2006).

En la ponderación de las variables en el cuadro cartesiano se registra en Y el grado de influencia, y en X el grado de dependencia o pasividad (Acción Social, 2006).

Para realizar la gráfica del cuadro cartesiano se traza una paralela al eje de las X a partir de la mediana de la columna de total activo, y una paralela al eje de las Y con la mediana de los valores de la fila de total pasivo, así:

Paralela al eje X (a partir de valores de total activo) =

$$\frac{CM - cm + cm}{2}$$

Donde CM = cantidad mayor, y cm = cantidad menor.

$$X = (8 - 6) / 2 + 6 = 7 \quad (1)$$

Paralela al eje Y (a partir de valores de total activo) =

$$\frac{CM - cm + cm}{2}$$

$$Y = (9 - 2) / 2 + 2 = 5.5 \quad (2)$$

Donde CM = cantidad mayor, y cm = cantidad menor.

Figura 2. Plano cartesiano para análisis de variables



**Análisis de las categorías.** En el caso analizado en el taller, y teniendo en cuenta los resultados del cuadro cartesiano, el grupo seleccionó la variable ubicada como activas, A. Cultura de cambio e innovación; críticas, B. Comercialización y C. Conocimiento y tecnología, y reactivas, D. Recursos.

## ESTRATEGIAS DE APROPIACIÓN SOCIAL DEL CONOCIMIENTO

### Estrategia 1. Cultura de cambio e innovación

**Objetivo:** generar programas que promuevan la innovación y la gestión del conocimiento en la Asociación Horfrubella.

**Productos:** se ha capacitado a los agricultores en buenas prácticas agrícolas, cultivo de nuevos productos, como hortalizas (cilantro sin raíz, lechuga crespa, cilantro sin raíz, repollo, pepino para relleno, brócoli, sukini, coliflor), que se han dado por medio de investigación participativa, ya que en el sitio en el que la Asociación se encuentra, en conjunto con la Alcaldía de Pereira y la UTP, se han venido realizando las plantulaciones de dichos cultivos en invernadero, para que luego los agricultores las validen. De esta forma se valida lo planteado por De Schutter (1983: 173), que dice que “la investigación acción participativa pone el énfasis en la participación de la población para producir los conocimientos y los puntos de vista que nos llevará a tomar las decisiones y a ejecutar una o más fases en el proceso de investigación” (Hernández, 2006).

**Actividades:** implementar un programa de capacitación constante y actividades de difusión del conocimiento con el fin de promover la aplicación de prácticas aprendidas y validadas por los agricultores, y evitar que estos repitan errores.

### Estrategia 2. Disminución de los eslabones comerciales

**Objetivo:** crear canales de comercialización estables y que garanticen precios.

**Productos:** se generaron productos que pudieran entrar a canales como supermercados y tiendas especia-

lizadas con alto valor agregado; se han realizado contratos con agricultores y se están implementando procesos de trazabilidad en las explotaciones agrícolas.

**Actividades:** contrato de garantías con agricultores, estabilización y mejora de precios a largo plazo, consolidación de un canal de ventas con enfoque en *marketing*.

### Estrategia 3. Introducción de nuevo conocimiento y tecnología de punta

**Objetivo:** introducir tecnología de punta que mejore los procesos productivos de la Asociación.

**Productos:** se introdujo al mercado la mora y la fresa ultracongelada por medio de la compra de equipos de última tecnología.

**Actividades:** investigación conjunta con universidades de la región, capacitación de los agricultores y la gerencia, desarrollo de protocolos de producción asociados a la implementación de sistemas de calidad, como buenas prácticas agrícolas en los cultivos y buenas prácticas de manufactura en la planta de producción.

### Estrategia 4. Acceso a mayores recursos económicos y financiamiento

**Objetivo:** obtener recursos de financiamiento mediante convocatorias.

**Productos:** se participó en convocatorias con el fin de financiar las tecnologías adquiridas.

**Actividades:** capacitación a empleados de la Asociación en formulación de proyectos con el objetivo de que puedan presentarse a convocatorias, realizar alianzas con universidades y empresas privadas con el fin de que la empresa pueda llegar a acceder a mayores recursos de cofinanciación.

Las estrategias de apropiación del conocimiento en ciencia y tecnología de Horfrubella se orientan en dos líneas de acción:

**Intercambio y transferencia del conocimiento.** En la estrategia nacional de apropiación de la ciencia y tecnología se proponen cuatro líneas de acción; entre estas se encontró el intercambio y la transferencia del conocimiento concebido como la interacción

del conocimiento desde una mirada de coproducción. Esta interacción de la asociación Horfrubella, reflejada en el trabajo articulado de investigaciones con universidades y entes gubernamentales, la ha llevado a introducir innovaciones asociadas a la transferencia de la tecnología, que busca reducir pérdidas poscosecha y a alargar la vida útil del producto.

**Gestión del conocimiento.** La organización se asemeja al modelo de gestión del conocimiento planteado por Nonaka y Takeuchi, ya que parte de un intercambio de conocimiento tácito, generado por los agricultores en sus procesos productivos, y se ha difundido a partir de las réplicas de las prácticas agrícolas llevadas a cabo por estos y sus congéneres (Nonaka y Takeuchi, 1999). Horfrubella, a partir del conocimiento adquirido en los procesos colaborativos con universidades y entes del Estado, ha adaptado y desarrollado procesos tecnológicos que se han replicado en todo el sistema productivo, lo que genera empoderamiento e innovación incremental.

**Socialización.** La iniciativa de generar nuevos procesos productivos nació de las conversaciones llevadas a cabo con otros agricultores de la región y el análisis de sus experiencias, al igual que la observación del mercado y la dinámica de precios, oferta y demanda.

**Exteriorización.** En este proceso se plantearon modelos de producción y adopción de nuevas tecnologías, siguiendo las iniciativas que se plantearon a entes gubernamentales y universidades.

**Combinación.** El proceso de combinación se llevó a cabo en las reuniones con los entes investigadores y gubernamentales, que llevó a acuerdos de implementación de la mejor tecnología que debe implementarse y los procesos de mejoramiento de producción de mora y desarrollo de nuevos procesos productivos de hortalizas.

**Interiorización.** Implementar los nuevos procesos productivos ha implicado un alto componente de ensayo y error en el que tanto los productores como la Asociación han definido sus mejores prácticas y la estandarización de procesos con un alto nivel de empoderamiento.

## DISCUSIÓN

Tanto en Colombia como a escala mundial se han adelantado estudios de medición de las capacidades de innovación de organizaciones rurales (Pérez, 2012; Aguilar, Martínez, Aguilar, Santoyo, Muñoz y García, 2016; Rugeles, Guaiteiro, Saavedra, Ariza, Noreña, Betancur, Castillo, Martínez, Arosa, Barrera y Vargas, 2013; ICA-Cofrup, 2010). Estos estudios contribuyen a diagnosticar un sector que está muy lejos de ser competitivo, y que en Colombia, un país que se enfrenta al posconflicto, se convierte en una pieza clave para esta recuperación social y empresarial, esto aunado a la apropiación social del conocimiento, que es una apuesta planteada como estrategia por Colciencias, y que se soporta en cuatro líneas de acción: participación ciudadana en CTI, comunicación CTS, transferencia e intercambio del conocimiento y gestión del conocimiento (Lozano y Maldonado, 2010). Estas líneas son analizadas en la investigación realizada, y se encontró que la participación ciudadana, en la gestión del conocimiento, impulsa procesos innovadores y genera impactos favorables en asociaciones rurales como Horfrubella, además de que implementadas adecuadamente se pueden mantener en el tiempo. La innovación en el sector rural es un esfuerzo de todos, ya que nace casi siempre como respuesta a una necesidad del entorno, pero genera impactos favorables no solo en las empresas rurales, sino en la comunidad en general, la ciencia, la tecnología y la innovación (Uribe, Fonseca, Bernal, Contreras y Castellanos, 2011); esto puede reconocerse como una construcción social que puede llegar a resolver problemas como la educación y la desigualdad, y es evidente en el caso analizado, ya que uno de los factores de éxito de este proceso de apropiación del conocimiento fue que muchos de los involucrados en los procesos de producción de la mora ultracongelada tienen formación de nivel de educación superior, lo cual facilitó la transferencia de tecnología y la gestión del conocimiento.

Esto se puede resumir en el concepto manejado por Marcela Amaro Rosales y Rebeca de Gortari Rabie-la en la investigación realizada en el sector agrícola mexicano sobre los productores de café en Veracruz, en el cual se plantea que la innovación en sectores

agrícolas debe ser un proceso inclusivo que lleva a la “innovación inclusiva”, que es entendida como el desarrollo e implementación de nuevas ideas para crear oportunidades que eleven el bienestar social y económico de la población. Este es un concepto aplicable a la innovación agrícola, que en la mayoría de las ocasiones no responde a la concepción clásica de cómo se desarrolla la innovación (Amaro y Gortari, 2016).

El caso de estudio muestra que la inclusión de la población en los procesos de apropiación de ciencia y tecnología es la mejor forma de generar nuevas ideas y que los procesos de generación de valor que han creado bienestar social ofertando empleos de mejor calidad y que requieren mano de obra calificada, son un mecanismo validado.

En el artículo titulado “Análisis de redes sociales para catalizar la innovación agrícola: de los vínculos directos a la integración y realidad” se plantea la importancia de crear redes de conocimiento con el objeto de generar innovación en sectores rurales, para de esta manera mejorar la competitividad y productividad (Aguilar *et al.*, 2016). Según el estudio realizado en la Asociación Horfrubella, se han venido adelantando estas redes de conocimiento, y estas han propiciado la innovación, lo cual es un logro significativo, ya que en el sector agroindustrial existen ineficiencias en el proceso de generación, difusión y aplicación del conocimiento, lo cual es un obstáculo para la generación de productos innovadores y procesos con alto valor agregado (Zartha, 2004; Zartha, Ávalos, Aguilar y Castrillón, 2009).

## CONCLUSIONES

El modelo de gestión de la innovación definido para Horfrubella, teniendo en cuenta el modelo Eniagro de la red RAET, presenta mayores innovaciones asociadas al paradigma de eficiencia, lo cual se asemeja con lo encontrado a escala nacional; esto se asocia a innovaciones que buscan mayor eficiencia en los procesos y reducción de costos de producción. Entre los campos de innovación más relevantes del sistema productivo de mora identificados están la organización de la producción, cambios en productos y gestión de clientes y mercados, lo cual está relacionado

con lo planteado en la clasificación de la innovación del *Manual de Oslo*. Esto demuestra que esta es una organización que orienta sus innovaciones hacia el fortalecimiento de condiciones comerciales por medio de la introducción de nuevas tecnologías y productos con alto valor agregado.

Al realizar el análisis de variables relacionadas con la innovación en el sistema productivo de mora de los asociados de Horfrubella se encontró la siguiente clasificación: variables activas: cultura de cambio e innovación; variables críticas: comercialización y conocimiento y tecnología, y variables reactivas: recursos. Esto muestra cómo en el sector rural, el hecho de no tener procesos de transferencia de conocimiento y procesos de comercialización estables y con garantías hace que la innovación no se presente y los recursos sean limitados, lo cual es una constante en el sistema productivo rural colombiano.

Las estrategias de apropiación social del conocimiento más representativas y evidentes en el proceso de generación de innovación entre los productores asociados a Horfrubella son la transferencia y apropiación social del conocimiento y la gestión del conocimiento, lo cual pauta un proceso diferenciador de los modelos tradicionales de innovación en el sector rural, que se basan en procesos empíricos y con muy poca introducción de procesos investigativos y científicos.

Los factores de éxito que llevaron a la innovación en la Asociación Horfrubella fueron, por un lado, la formación especializada de sus asociados y empleados, contextualizada en el sector rural (administradores de empresas agropecuarias, tecnólogos en agroindustria, agrónomos, administradores ambientales); por otro, la articulación con universidades, entidades públicas y grupos de investigación que han participado en el desarrollo de proyectos, financiación e investigaciones, al igual que en la solución de problemas inherentes al proceso productivo.

## AGRADECIMIENTOS

Mis más sinceros agradecimientos a la doctora Laura Esperanza Rugeles Chacón, coordinadora académica de la Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas

de la Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, por su apoyo con la encuesta Eniagro, y a la metodología de medición de innovación realizada y validada por la red RAET en el marco del libro *Medición de la innovación agropecuaria en Colombia*, que fue utilizada para esta investigación.

## REFERENCIAS

- Acción Social (2006). *Manual de formulación de proyectos de cooperación internacional*. Imprenta Nacional de Colombia, Bogotá.
- Aguilar, N., Martínez, E., Aguilar, J., Santoyo, H., Muñoz, M. y García, E. (2016). Análisis de redes sociales para catalizar la innovación agrícola: de los vínculos directos a la integralidad y radialidad. *Estudios Gerenciales*, 32(140), 1-11, doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.estger.2016.06.006>
- Amaro, M. y Gortari, R. (2016). Innovación inclusiva en el sector agrícola mexicano: los productores de café en Veracruz. *Economía Informa*, 400, 86-140, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecin.2016.09.006>
- Asamblea Departamental de Risaralda (2012). *Ordenanza número 006*. Pereira.
- Bernal, C. (2010). *Metodología de la investigación: administración, economía, humanidades y ciencias sociales*. Bogotá: Pearson.
- Calix, C., Vigier, H. y Briozzo, A. (2015). Capital intelectual y otros determinantes de la ventaja competitiva en empresas exportadoras de la zona norte de Honduras. *Suma de Negocios*, 6(14), 130-137, doi: <https://doi.org/10.1016/j.sumneg.2015.10.005>
- Chaparro, F. (2001). Conocimiento, aprendizaje y capital social como motor de desarrollo. *Ciência da Informação*, 30(1), 19-3, doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-19652001000100004>
- Comisión Regional de Competitividad de Risaralda (2010). *Plan Regional de Competitividad*. Pereira.
- Departamento Nacional de Planeación. (2016). *Anuario mundial de competitividad 2016*. Colombia.
- FAO (2013). *Agroindustrias para el desarrollo*. Roma.
- Hernández, A. (2006). La investigación: acción participativa y la producción del conocimiento. *Revista Faces*, 2, 1-3.
- Hidalgo, A. (2008). La innovación en procesos: un cambio de paradigma. Disponible en [http://oa.upm.es/4720/1/INVE\\_MEM\\_2008\\_55558.pdf](http://oa.upm.es/4720/1/INVE_MEM_2008_55558.pdf).
- ICA-Cofrupro. (2010). Programa de documentación de casos de éxito. Disponible en <http://www.redinnovagro.in>.
- Leibovich, J. y Estrada, L. (2008). Competitividad del sector agropecuario colombiano. Disponible en <https://compite.com.co/wp-content/uploads/2017/05/208Agro.pdf>.
- Lozano, M. y Maldonado, O. (2010). *Estrategia nacional de apropiación social de la ciencia, la tecnología y la innovación*. Bogotá: Colciencias.
- Marín Agudelo, S. A. Apropiación social del conocimiento: una nueva dimensión de los archivos. *Revista Interamericana de Bibliotecología*, 35(1), 55-62.
- Nonaka, I. y Takeuchi, H. (1999). Gestión del conocimiento, modelo de creación del conocimiento: teoría de creación de conocimiento. Disponible en [https://es.wikibooks.org/wiki/Gesti3n\\_del\\_conocimiento/Modelo\\_de\\_creaci3n\\_del\\_Conocimiento/Teor3a\\_de\\_creaci3n\\_de\\_conocimiento\\_por\\_Nonaka\\_y\\_Takeuchi](https://es.wikibooks.org/wiki/Gesti3n_del_conocimiento/Modelo_de_creaci3n_del_Conocimiento/Teor3a_de_creaci3n_de_conocimiento_por_Nonaka_y_Takeuchi).
- Pérez, M. (2012). Experiencias y enfoques de procesos participativos de innovación en agricultura. Disponible en [http://www.corporacionpba.org/comunicadores/pba\\_fao.pdf](http://www.corporacionpba.org/comunicadores/pba_fao.pdf).
- Rodríguez, A. y Alvarado, H. (2008). *Claves de la innovación social en América Latina y el Caribe*. Santiago de Chile: Cepal.

- Rugeles, L., Guaitero, B., Saavedra, D., Ariza, C., Noreña, H., Betancur, I., Castillo, O., Martínez, N., Arosa, C., Barrera, L. y Vargas, M. (2013). *Medición de la innovación agropecuaria en Colombia*. Medellín: Editorial Universidad de Medellín.
- Scribano, A. (2007). *El proceso de investigación cualitativo*. Buenos Aires: Prometeo Libros.
- Tafur, M. (2010). Ciencia, tecnología y democracia: reflexiones en torno a la apropiación social del conocimiento. Disponible en <http://www.colciencias.gov.co>.
- Tarapuez, E., Guzmán, B. y Parra, R. (2016). Estrategia e innovación en las mipymes colombianas ganadoras del premio Innova 2010-2013. *Estudios Gerenciales*, 32(139), , 170-180, doi: 10.1016/j.estger.2016.01.002
- UNED (2010). Resumen del Manual de Oslo sobre innovación. Disponible en [http://portal.uned.es/portal/page?\\_pageid=93,23280929&\\_dad=portal](http://portal.uned.es/portal/page?_pageid=93,23280929&_dad=portal)
- Universidad del Rosario (2016). Desafíos actuales de las empresas colombianas. Disponible en [http://www.urosario.edu.co/urosario\\_files/ee/ee035291-3f52-4d8a-8eb4-c5d3d22914e5.pdf](http://www.urosario.edu.co/urosario_files/ee/ee035291-3f52-4d8a-8eb4-c5d3d22914e5.pdf)
- Uribe, C., Fonseca, S., Bernal, G., Contreras, C. y Castellanos, O. (2011). *Sembrando innovación para la competitividad del sector agropecuario colombiano*. Bogotá: Giro Editores Ltda.
- Zartha, J. (2011). Sistema de innovación agroindustrial. *Futuro*, 13-26.
- Zartha, J., Ávalos, A., Aguilar, S. y Castrillón, F. (2009). Metodología para la medición de innovaciones tecnológicas aplicada a empresas del sector agroindustrial. *Revista Facultad de Ciencias Agrícolas*, 7(2), 89-98.

# Post-embryonic development stages of *Tityus columbianus* (Thorell, 1846), (Scorpiones, Buthidae): morphometric estimation approach

Etapas de desarrollo posembrionario de *Tityus columbianus* (Thorell, 1846), (Scorpiones, Buthidae): enfoque de estimación morfométrica

**Matías Gómez C.**

Department of Biologic Sciences, Universidad de los Andes, Bogotá, D. C., Colombia

**Eduardo Flórez**

Biological Sciences Institute, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, D. C., Colombia

**Linda Hernández**

Department of Natural and Environmental Sciences. Faculty of Natural Science and Engineering,  
Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Bogotá, D. C., Colombia

**Gonzalo E. Fajardo Medina**

Department of Natural and Environmental Sciences. Faculty of Natural Science and Engineering,  
Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Bogotá, D. C., Colombia  
[gonzalo.fajardo@utadeo.edu.co](mailto:gonzalo.fajardo@utadeo.edu.co)

**Fecha de recepción: 20 de agosto de 2017**

**Fecha de aceptación: 25 de octubre de 2017**

**Sugerencia de citación:** Gómez C., M., Flórez, E., Hernández, L. y Fajardo Medina, G. E. (2017). Post-embryonic development stages of *Tityus columbianus* (Thorell, 1846), (Scorpiones, Buthidae): morphometric estimation approach. *Mutis*, 7(2), 75-80, doi: <http://dx.doi.org/10.21789/22561498.1257>

**Editor:** Hernández Fernández, J. [javier.hernandez@utadeo.edu.co](mailto:javier.hernandez@utadeo.edu.co)

## ABSTRACT

Little information about *Tityus columbianus* (Thorell, 1846) lifecycle and molting exists. In this study, the number of post-embryonic development stages was determined by using geometric morphometric tools, and through classical equations of Pzibram & Megusâr (1984). Analyses included image digitalization, placement of landmarks, and matrix derivation based on Euclidean distances. The analysis established that *T. columbianus* goes through about six to seven stages along its post-embryonic development.

**Keywords:** Scorpions, molting, landmarks, geometric morphometry, euclidean distances.



## RESUMEN

Poca información existe sobre el ciclo de vida y número de mudas por los cuales pasa el *Tityus columbianus* (Thorell, 1846) para alcanzar la madurez. En este estudio, el número de estados de desarrollo posembriónico fue determinado usando herramientas de morfometría geométrica y por medio de las ecuaciones clásicas de Pzibram y Megusâr (1984). Los análisis incluyeron digitalización de imágenes, definición de puntos de referencia homólogos (o *landmarks*) y derivación de matrices basadas en distancias euclidianas. Los análisis permiten establecer que el *T. columbianus* pasa por seis o siete estados (mudas) en su desarrollo posembriionario.

**Palabras clave:** escorpiones, muda, puntos homólogos, morfometría geométrica, distancias euclidianas.

## INTRODUCTION

*Tityus columbianus* is a scorpion that belongs to the Buthidae family and that is endemic of Eastern Andes of Colombia. Its populations are found between 2200 to 3000 m (Botero-Trujillo y Fagua, 2007; Bohórquez *et al.*, 2005; Flórez, 2001; Fet y Lowe, 2000, Lourenço, 1997). As described by Teruel and García (2008), *T. columbianus* is a particular case of scorpion which general aspects of its biology are known. However, there are no studies focused on specific patterns of the population, such as their lifecycle; as a matter of fact, there is only one taxonomic and systematic work. It is a brownish, mottled with yellowish spots, small-sized scorpion (Fig. 2a), well-known for having sexual populations in the northernmost area of its geographic distribution (Fig.1), while to the south (Bogotá savanna and vicinity) there are parthenogenetic populations (Lourenco, 1991; Lourenco, *et al.*, 1996). So far it has not been possible to complete the lifecycle of *T. columbianus* under laboratory conditions and

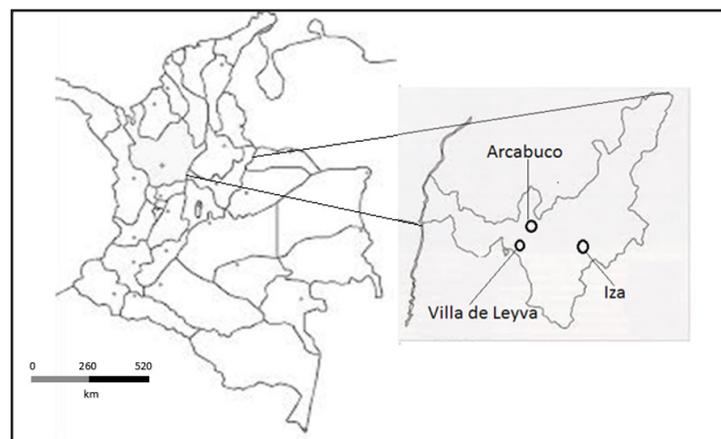
therefore determine the number of molts to maturity. The aim of this study was to determine the number of stages involved in the lifecycle of *T. columbianus*, applying the geometric progression index established by Pzibram & Megusâr (Francke y Sissom, 1984), which allows to infer with a high degree of reliability the number of stages based on measurement of specimens' structures of well-known ages.

## Materials and Methods

### Study Site

Specimens used in this study were collected near Arcabuco, Iza and Villa de Leyva towns (Fig.1) of Boyacá (Colombia) during the first semester of 2011. They were deposited in the arachnological collection of Universidad Nacional de Colombia (Bogotá). The sample consisted of 47 specimens of *T. columbianus*: 23 adult females —three from Arcabuco, two from Iza and 18 from Villa de Leyva—, and 24 juveniles —nine from Arcabuco, seven from Iza and eight from Villa de Leyva.

**Figure 1.** Location of collected samples of *T. columbianus* (Boyacá, Colombia)



## Measurement of characters

Three characters were measured: dorsal median line of carapace, pedipalp chela (left) from the base to the tip, and the left median lateral line of the fifth metasomal segment (Fig. 2). Longitudinal measures of these characters were taken using TpsDig2 geometric morphometry software (Rohlf, 2006). Specimens were photographed placing them onto millimetric paper to get a scale and a measurement conversion factor in millimeters of each chosen character (adults with Nikon Coolpix p100 and juveniles with Leica EZ4D stereomicroscope). Landmarks (Bookstein, 1991) were placed at the tip and base of the measured structure (Fig. 2), and saved in a TPS file with coordinates for each point. The reference points were standardized for second instar juveniles and adults. Several replicates of landmarks were made according to indications by Arnqvist & Mårtensson (1998) for these studies. Through Euclidian distance calculation of each landmark point coordinates (Bookstein, 1991), and multiplying it by the conversion factor obtained with millimetric paper, the final distance in millimeters between landmarks was obtained. Matrixes of distances for each structure and their average in adults and juveniles were generated from the sample.

**Figure 2.** A. *T. columbianus* adult; B. Landmarks at the dorsal median line of carapace; C. Landmarks at fifth metasomal segment; D. Landmarks at the pedipalp chela



The obtained values were introduced to Francke & Sissom (1984) prediction equation:

$$nL = \text{Log } A - \text{Log } Y / \text{Log } P. \quad (1)$$

Where  $n$  is the number of required stages for a juvenile to reach adult size,  $A$  is the structure measure of an adult,  $Y$  is the measure of the same structure in the juvenile of a known stage, and  $P$  is the theoretical progression factor 1.26 (Francke y Sissom, 1984). The progression factor refers to the relation between the size of a measure character from one stage to the next (Polis, 1990).

## RESULTS AND DISCUSSION

In this study, the geometric progression index established by Pzibram & Megusâr (Francke & Sissom, 1984) was used according to their proposed theoretical method. The predictions of such method, under the assumption of a constant 1.26 progression factor, determine the number of stages involved in the lifecycle of *T. columbianus*. The theoretical method is based on the knowledge that certain measurements in successive stages of at least some arthropods increase in a regular geometrical progression. By knowing the length of some structures on newborn and adult arthropods, and assuming the progression law to be valid for that species, the number of molts (or intervening stages in the geometrical progression) linking newborn and adult measurements can be calculated (Francke & Sissom, 1984).

Table 1 shows all measurements obtained using TpsDig2 geometric morphometry software (Rohlf, 2006), whilst table 2 shows the results obtained after carrying the base 10 logarithm of each average and the estimated stages per locality obtained by applying geometrical progression index.

**Table 1.** Measurements obtained using TpsDig2 geometric morphometry software (Rohlf, 2006). Carapace, pedipalp chela, and metasomal segment V of young and adults of *T. columbianus*

Localidad	 $\bar{x}$ Carapace (mm)		 $\bar{x}$ pedipalp chela (mm)		 $\bar{x}$ metasomal segment V (mm)	
<b>Arcabuco</b>	3.9229	1.5952	7.1293	2.6675	4.5356	1.5441
<b>Iza</b>	4.1047	1.5232	7.5482	2.6910	4.9404	1.6910
<b>Villa de Leyva</b>	4.0240	1.3467	7.1976	2.2974	4.6410	1.4940
	A	Y	A	Y	A	Y

\*A= adult Y= young

**Table 2.** Theoretical morphometric prediction of the number of stages (n) for second instar juveniles of *T. columbianus*

Locality	Carapace Log $\bar{X}$		Chela Log $\bar{X}$		Fifth metasomal segment Log $\bar{X}$		Total prediction (n)
<b>Arcabuco</b>	0.5936	0.2028	0.8530	0.4261	0.6566	0.1887	4.2853
<b>Iza</b>	0.6133	0.1827	0.8778	0.4299	0.6938	0.2281	4.4810
<b>Villa de Leyva</b>	0.6047	0.1293	0.8572	0.3612	0.6666	0.1743	4.8713
<b>A= Adult</b>							
	A	Y	A	Y	A	Y	
Y= Juvenile							

Estimates per locality were obtained from averaging the values given by this index in each structure separately. These values were averaged again, getting a total estimated of 4.54 molts. This value was rounded off to the nearest integer since there is not fraction of a molt. In this study, being a theoretical approach, it was assumed that the value is between 4 and 5 stages from the second instar.

Therefore, it means that *T. columbianus* could go through 6 and 7 stages along its post-embryonic development. This result is consistent with the number of stages reported for other species of the genus, whose life cycle has been completed under

laboratory conditions (Polis, 1990), confirming the validity of the progression index for this species.

This research contributes to the study of Colombian scorpions and offers a parameter of the possible post-embryonic development of populations in the western zone of the Andes. On the other hand, it confirms the validity of progression indexes application, which allow its extrapolation to populations of northern South America. As show by Armas (1986) for other butids, and Teruel & Piorno (2006), the progression indexes and the theoretical method described by Francke y Sissom (1984) are a tool to estimate the number of molts along scorpions' postembryonic

development when it has not been possible to complete their lifecycle.

## CONCLUSIONS

It was possible to extrapolate the stages of development and number of molts of *T. columbianus*. It was found that such species go through 6 and 7 stages along its postembryonic development. The application of the geometric progression index established by Pzibram & Megusâr (Francke & Sissom, 1984), and the use of morphometry allow to infer – with a high degree of reliability– the number of stages, based on measurement of specimens' structures of well-known ages.

## ACKNOWLEDGEMENTS

The authors thank morphometrics.org group for their support, Universidad Nacional de Colombia (Bogotá), Department of Biological and Environmental Sciences of Universidad Jorge Tadeo Lozano, and Francisco Quiroz for his help with the redaction, as well as the anonymous reviewers of the manuscript.

## REFERENCES

- Arnqvist, G. y Mårtensson, T. (1998). Measurement error in geometric morphometrics: Empirical strategies to asses and reduce its impact on measure of shape. *Acta Zoologica Academiae Hungaricae*, 44, 82.
- Bohórquez, R. M., E. C. Jiménez, H. N. Lara y Flórez, E. (2005). Fluctuación poblacional del escorpión *Tityus columbianus* (Thorell, 1876) (Scorpiones: Buthidae) en dos localidades de la región andina de Colombia. Pp. 122. En C. A. Toscano-Gadea (ed.), *Actas. Primer Congreso Latinoamericano de Aracnología. V Encuentro de Aracnólogos del Cono Sur*, Mimeográfica PESCE. Montevideo.
- Bookstein, F.L. (1991). *Morphometric tools for landmark data. geometry and biology*. New York: Cambridge University Press.
- Botero-Trujillo, R. y Fagua, G. (2007). Additions to the knowledge of the geographical distribution of some Colombian scorpions (Buthidae: *Ananteris*, *Rhopalurus*, *Tityus*). *Revista Ibérica de Aracnología*, 14, 129-134.
- De Armas, L. F. (1986). Biología y morfometría de *Rhopalurus garridoi* armas (Scorpiones: Buthidae). *Poeyana*, 333, 1-27.
- Fet, V. y Lowe, G. (2000). Family Buthidae C. L. Koch, 1837. Pp. 54-286. En V. Fet, W. D. Sissom, G. Lowe y M. E. Braunwalder (eds.), *Catalog of the Scorpions of the World (1758-1998)*, New York Entomological Society.
- Flórez, E. (2001). Escorpiones de la familia Buthidae (Chelicerata: Scorpiones) de Colombia. *Biota Colombiana*, 2(1), 25-30.
- Francke, O. y Sissom, D. (1984). Comparative review of the methods used to determine the number of molts to maturity in scorpions (Arachnida), with analysis of the post-birth development of *Vaejovis coahuilae* Williams (Vaejovidae). *The Journal of Arachnology*, 12, 1-20.
- Lourenço, W. R. (1991). Parthenogenesis in the scorpion *Tityus columbianus* (Thorell) (Scorpiones: Buthidae). *Bulletin of the British Arachnological Society*, 8(9), 274-276.
- Lourenço, W. R., Cuéllar, O. y Méndez de la Cruz, F. R. (1996). Variation of reproductive effort between parthenogenetic and sexual populations of the scorpion *Tityus columbianus*. *Journal of Biogeography*, 23, 681-686.
- Lourenco, W. R. (1997). Synopsis de la faune de scorpions de Colombie, avec des considérations sur la systématique et la biogéographie des espèces. *Revue Suisse de Zoologie*, 104(1), 61-79, doi: 10.1111/j.1365-2699.1996.tb00028.x
- Polis, A. (1990). *Biology of scorpions*. Stanford University Press. Stanford, EE. UU. pp. 198-203.

Rohlf, F. J. (2006). *TPSDig. Ver. 2.05*. Stony Brook, NY: Department of Ecology and Evolution, State University of New York.

Teruel, R. y Piorno I. (2006). Desarrollo postembrionario de *Heteronebo bermudezi morenoi* (Armas 1973), escorpión endémico de Cuba (Scorpiones: Scorpionidae: Diplocentrinae) *Boletín Sociedad Entomológica Aragonesa*, 381, 77-180.

Teruel, R y García H, L. F. (2008). Rare or poorly known scorpions from Colombia. II. Redescription of *Tityus columbianus* (Thorell, 1876) (Scorpiones: Buthidae). *Euscorpius*, 64, 1-14.

# Cultivo de microalgas *Isochrysis galbana* y *Nannochloropsis* sp. para alimentación de larvas de peces marinos

## Cultivation of microalgae *Isochrysis galbana* and *Nannochloropsis* sp. for feeding marine fish larvae

**María Fernanda Pereira Gutiérrez**

Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Bogotá, D. C., Colombia  
<http://orcid.org/0000-0003-3291-8214>  
[mariaf.pereirag@utadeo.edu.co](mailto:mariaf.pereirag@utadeo.edu.co)

**Guiomar Aminta Jáuregui Romero**

Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, seccional Santa Marta, Colombia  
<http://orcid.org/0000-0003-1239-7933>

**Adrián Devia Barros**

Centro de Investigación, Educación y Recreación (Ceiner), Cartagena de Indias, Colombia

**Jaime Rojas Ruiz**

Centro de Investigación, Educación y Recreación (Ceiner), Cartagena de Indias, Colombia

**Fecha de recepción: 5 de julio de 2017**  
**Fecha de aceptación: 2 de octubre de 2017**

**Sugerencia de citación:** Pererira Gutiérrez, M. F., Jáuregui Romero, G. A., Devia Barros, A. y Rojas Ruiz, J. (2017). Cultivo de microalgas *Isochrysis galbana* y *Nannochloropsis* sp. para alimentación de larvas de peces marinos. *Mutis*, 7(2), 81-85, doi: <http://dx.doi.org/10.21789/22561498.1246>

**Editor:** Hernández Fernández, J. [javier.hernandez@utadeo.edu.co](mailto:javier.hernandez@utadeo.edu.co)

## RESUMEN

En la producción de alimento vivo, representado principalmente por microalgas, se buscan nuevas técnicas de medios de cultivo para sustituir las fórmulas tradicionales en aras de reducir costos. Teniendo en cuenta esto, se usó un medio no convencional (fertilizantes industriales) para producir las microalgas *Isochrysis galbana* y *Nannochloropsis* sp. en cultivos estáticos, y se alcanzaron densidades de  $7,5 \times 10^6$  cel mL<sup>-1</sup> de *Nannochloropsis* sp. en 1000 L y  $0,265 \times 10^6$  cel mL<sup>-1</sup> de *I. galbana* en 250 L. Hubo un crecimiento exponencial, que se alcanzó entre los tres y los ocho días, en que se duplicaron las densidades iniciales. Se sugiere cosechar en lapsos cortos (hasta cuatro días), debido a la proliferación de contaminantes y la disminución de la calidad de las células con el tiempo. Se concluye que el medio diseñado para el enriquecimiento del cultivo es una alternativa viable para la producción de las microalgas que permite satisfacer la demanda alimenticia en el levante de larvas de peces marinos.

**Palabras clave:** cultivo estático, medio no convencional, fertilizantes agrícolas, *Isochrysis galbana*, *Nannochloropsis* sp.



## ABSTRACT

In the production of live food, represented mainly by microalgae, this seeks new techniques of culture media, with the substitution of traditional formulas, in favor of a reduce costs. Unconventional medium (industrial fertilizers) was used to produce the microalgae *Isochrysis galbana* and *Nannochloropsis* sp. from static cultures, reaching densities of  $7,5 \times 10^6$  cells mL<sup>-1</sup> of *Nannochloropsis* sp. in 1000 L and  $0,265 \times 10^6$  cells mL<sup>-1</sup> of *I. galbana* in 250 L. Exponential growth was achieved between 3 and 8 days, doubling the initial densities. It is suggested to harvest in short periods (up to 4 days), due to the proliferation of contaminants such as protozoa and bacteria, and decrease the quality of the cells over time. It is concluded that the medium designed for the enrichment of the crop, is a viable alternative for the production of microalgae, allowing to satisfy the food demand in the raising of marine fish larvae.

**Keywords:** Static culture, unconventional medium, agricultural fertilizers, *Isochrysis galbana*, *Nannochloropsis* sp.

## INTRODUCCIÓN

En el desarrollo larvario de peces es esencial tener un laboratorio destinado a la producción y mantenimiento de variedad de alimento vivo, denominado cultivos auxiliares o de presas vivas, alimento representado principalmente por microalgas (Barrera, De Lara, Castro, Castro y Malpica, 2003). En estos cultivos, los reactivos empleados, la mano de obra calificada y la infraestructura adecuada representan altos costos, lo que hace necesario estandarizar nuevas técnicas y medios de cultivo que reduzcan los costos de producción (Nieves, Voltolina, López, Cisneros y Piña, 2000).

Las microalgas (fitoplancton) aportan polisacáridos, aminoácidos, enzimas y proteínas que varían en cantidad según la especie, por lo que son implementadas como mezcla para satisfacer todos los requerimientos nutricionales de organismos en cultivo como peces y crustáceos (Barrera *et al.*, 2003). Así, la *Nannochloropsis* sp. tiene células pequeñas redondeadas de 2 a 4  $\mu\text{m}$  sin flagelos, sin contenido de DHA, pero con altas concentraciones de EPA, proteínas y carbohidratos (Velasco, Carrera y Barros, 2008). Por otro lado, la *Isochrysis galbana* es una microalga con células ovoides de 5 a 7  $\mu\text{m}$ , con dos flagelos y rica en DHA, benéfico para el crecimiento y desarrollo de larvas de peces marinos (Coutteau, 1996) y zooplancton (Hoff y Snell, 1993).

Ante la dificultad del sector de la acuicultura marina de lograr un abastecimiento adecuado de juveniles

(semillas), y dada la continuidad de los sistemas de producción, es necesario mantener la cantidad suficiente de alimento de calidad que requieren los cultivos de peces, implementando nuevos medios de enriquecimiento y minimizando costos, sin que ello atente contra una alta producción. El presente estudio tuvo como objetivo probar un medio no convencional para masificar *I. galbana* y *Nannochloropsis* sp., enfocado en la alimentación de larvas de peces marinos.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Los cultivos de microalgas marinas se realizaron en el Laboratorio de Acuicultura, en el área de Alimento Vivo del Centro de Investigación, Educación y Recreación, en Cartagena, Colombia. Las cepas de *I. galbana* y *Nannochloropsis* sp. fueron adquiridas en Ceniagua (Cartagena, Colombia). Para el enriquecimiento de estas se utilizó el medio no convencional compuesto por fertilizantes agrícolas: 0,02 mL nutrifoliar completo, 0,065 g de urea, 0,05 mL de triple 15 y 1 mL de vitamina (neurobión y complejo B) por cada litro de agua de mar filtrada, autoclavada para volúmenes menores y clorada para volúmenes mayores.

Las microalgas se cultivaron en el medio enriquecido mediante una serie de incremento de volúmenes: 10 mL, 250 mL, 500 mL, 2 L, 15 L, 30 L, 250 L y 1 000 L. La tasa de crecimiento y los tiempos de siembra se calcularon utilizando la ecuación de velocidad específica ( $\mu$ ) a partir de la concentración celular (expresada como el número de células por mililitro) de muestras

diarias de cada volumen de siembra. Se registró la calidad de las células (movilidad, forma y presencia de contaminantes) durante ocho días con un microscopio compuesto, una cámara de Neubauer de 0,1 mm de profundidad, y la ecuación (1) utilizada para evaluar dichos datos,

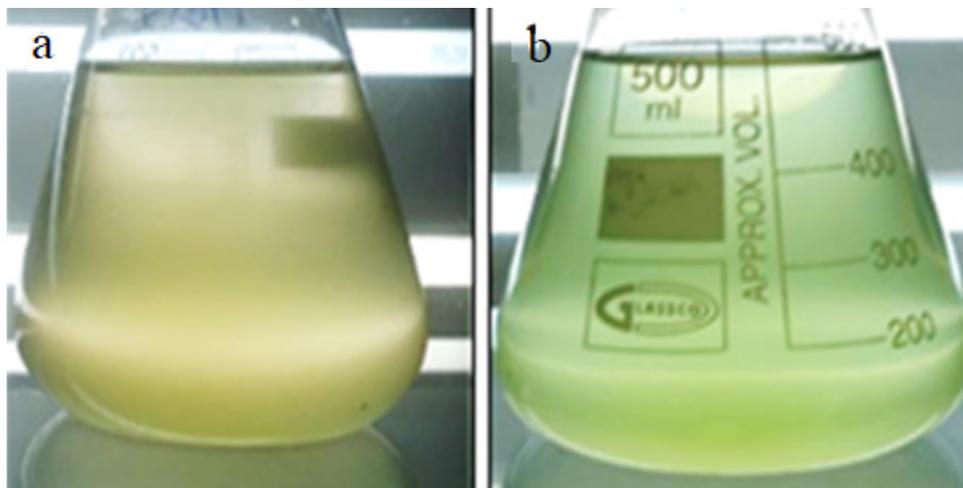
$$\mu = \frac{\ln\left(\frac{N_{t_2}}{N_{t_1}}\right)}{t_2 - t_1} \quad (1)$$

donde  $N_{t_2}$  y  $N_{t_1}$  es la concentración celular registrada al inicio y al final de un intervalo de tiempo ( $t$ ). Esta ecuación permite identificar la fase exponencial como aquella en la que la velocidad de crecimiento adquiere su valor máximo, tiempo propicio para la cosecha, después del cual las condiciones son subóptimas (Arredondo y Voltolina, 2007).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los fertilizantes agrícolas se consideran una alternativa económica para reducir los costos de producción. En un cultivo estático de microalgas, y hasta 20 L, es recomendable el uso de medios analíticos, pues los medios no convencionales o simplificados pueden afectar el crecimiento de la microalga y su composición cambiando el contenido de varias fracciones orgánicas (Peraza, 1997). En este estudio fue una alternativa que permitió satisfacer la demanda alimentaria de los primeros estadios de las larvas. Transcurridos cuatro días de la inoculación o siembra, los resultados fueron visibles en número y calidad de las células de *I. galbana* y *Nannochloropsis* sp. (figura 1, a y b): alcanzaron densidades de  $7,5 \times 10^6$  cel mL<sup>-1</sup> de *Nannochloropsis* sp. en 1000 L y  $0,265 \times 10^6$  cel mL<sup>-1</sup> de *I. galbana* en 250 L.

**Figura 1.** Cultivo de células después de cuatro días de la siembra en medio no convencional. a. *I. galbana*. b. *Nannochloropsis* sp.



En Piña, Medina, Nieves, Leal, López y Guerrero (2007), cuando se trabajó con *Isochrysis* sp. y los medios F/2 de Guillard y Ryther, urea y Nutrilake, no se encontraron diferencias significativas en la densidad celular de los tratamientos. Se obtuvieron mayores concentraciones con fertilizantes comerciales, similares a los registrados por Nieves, Voltolina, López, Cisneros y Piña (2000), quienes enriquecieron las micro-

algas con productos de naturaleza zeolítica (PNZ). Sin embargo, en estos estudios se trabajó sobre cultivos a gran escala y no en cultivo estático. En contraste, Valenzuela, Lafarga, Millán y Núñez (2005) trabajaron con *Rhodomonas* sp., evaluaron el crecimiento y composición en cultivo estático con F/2 de Guillard y Ryther y fertilizantes agrícolas, y observaron un crecimiento no diferencial en ambos medios y una leve

disminución en las fracciones de carbohidratos y lípidos en la fase exponencial.

Esto permite inferir que el medio no convencional trabajado es una alternativa para la maricultura, no solo por las densidades alcanzadas, sino por el sostenimiento del cultivo o *stocks*, sin afectar el siguiente eslabón de producción (zooplancton y larvas de peces).

A pesar de las medidas tomadas para el manejo del cultivo desde el cepario de *Nannochloropsis* sp. y en volúmenes mayores a 2 L en *I. galbana*, la contaminación por protozoarios y bacterias fue recurrente: al menos el 30 % en el cepario y un 50 % en volúmenes mayores. Las fuentes de contaminación incluyen el sistema de aireación, los nutrientes, insectos, el agua, la cristalería y los tanques de siembra (Hoff y Snell, 1993). La intensidad lumínica y la temperatura son los factores de mayor incidencia en la fotosíntesis y en el crecimiento de las microalgas, pero también influyen en los contaminantes biológicos (bacterias, zooplancton, virus y microalgas). Los ajustes de estos aspectos al rango óptimo de las microalgas desmejorarán los riesgos de contaminación (Wang, Zhang, Chen, Wang y Liu, 2013).

Partiendo de inóculos con densidades no mayores a dos millones de cel mL<sup>-1</sup> de *I. galbana*, la fase exponencial de crecimiento se alcanzó entre el tercero y el séptimo día, plazo en se llegó a duplicar la concentración inicial. Los diferentes volúmenes de siembra adquirieron su tonalidad característica (dorado o amarillo un poco oscuro) al tercer y cuarto día. Después de este tiempo dicho color se fue perdiendo, formando un precipitado marrón en el fondo, que indica muerte celular. Se determinó proceder a la inoculación en el día séptimo; sin embargo, la calidad de la cepa de *I. galbana* no fue la mejor, debido a que presentó poca movilidad y células irregulares. Asimismo, la cantidad de competidores, como bacterias y protozoos, aumentó, y un mayor tiempo de transferencia (siembra) de un volumen a otro condujo a la caída del nivel superior en un tiempo menor. Algo similar ocurrió con la *Nannochloropsis* sp.: partiendo de densidades mayores a tres millones de cel mL<sup>-1</sup> se alcanzó la fase exponencial entre tres y ocho días. El objetivo de cultivar microalgas es alcanzar densidades celulares más altas en periodos cortos de tiempo (Creswell, 2010).

Cuando las células del inóculo no se encuentran en condiciones metabólicas adecuadas, la reproducción se hace más lenta, por lo cual el cultivo no será exitoso (Arredondo y Voltolina, 2007). La microalga, desde el cultivo estático presenta contaminación por protozoarios, lo que afecta el metabolismo por la competencia generada; eso explica la lentitud para alcanzar la fase exponencial.

## CONCLUSIONES

El medio diseñado resultó ser una alternativa viable para la producción de las microalgas, desde el cultivo estático, algo que se refleja en la calidad y densidad celular alcanzada:  $0,265 \times 10^6$  cel mL<sup>-1</sup> de *I. galbana* en 250 L y  $7,5 \times 10^6$  cel mL<sup>-1</sup> de *Nannochloropsis* sp. en 1000 L.

Los tiempos de transferencia de los inóculos no deben sobrepasar los cuatro días. Transcurrido este tiempo, la viabilidad de las células decae y son más afectadas por contaminantes como protozoos y bacterias, que afectan la calidad del cultivo y el siguiente eslabón de producción.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a las directivas del Centro de Investigación, Educación y Recreación por permitir el uso de sus instalaciones, material y equipo, y al profesor Javier Hernández por la crítica del documento.

## REFERENCIAS

- Arredondo, B y Voltolina, D. (2007). Concentración, recuento celular y tasa de crecimiento. En Arredondo y Voltolina (eds.), *Métodos y herramientas analíticas en la evaluación de la biomasa microalgal*. México: Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. La Paz, B.C.S., pp. 22-29.
- Barrera, T., De Lara, R., Castro, G., Castro, J., y Malpica, A. (2003). *Alimento vivo en la acuicultura*. *ContactoS*, 48, 27-33.

- Coutteau, P. (1996). Micro-algae. En P. Lavens y P. Sorgeloos (eds.), *Manual on the production and use of live food for aquaculture*. FAO. Fisheries Technical Paper, 361, 295.
- Creswell, L. (2010). Phytoplankton culture for aquaculture feed. *Southern Regional Aquaculture Center*, 5004, 16.
- Hoff, F. H. y Snell, T. W. (1993). *Plankton culture manual*. 3.ª ed. Florida: Florida Agua Farms, Inc., p. 147.
- Nieves, M., Voltolina, D., López, J., Cisneros, M., y Piña, P. (2000). Cultivo de microalgas marinas con medios enriquecidos con productos de naturaleza zeolítica. *Hidrobiológica*, 10(1), 1-16.
- Peraza, D. M. (1997). Cultivos de la diatomea *Chaetoceros* sp. con tres fertilizantes agrícolas. Tesis de técnico en acuicultura. Universidad Autónoma de Sinaloa, México.
- Piña, P., Medina, M. A., Nieves, M., Leal, S., López, J. y Guerrero, M. (2007). Cultivo de cuatro especies de microalgas con diferentes fertilizantes utilizados en acuicultura. *Rev. Invest. Mar*, 28(3), 225-236.
- Valenzuela Espinosa, E., Lafarga de la Cruz, F., Millán Núñez, R. y Núñez Cebrero, F. (2005). Crecimiento, consumo de nutrientes y composición proximal de *Rhodomonas* sp. cultivada con medio f/2 y fertilizantes agrícolas. *Ciencias Marinas*, 31(1A), 79-89.
- Velasco, L. A., Carrera, S. y Barros, J. (2008). Producción de microalgas como alimento para pectínidos. En L. A. Velasco (ed.), *Biología y cultivo de los pectínidos de interés comercial de Colombia*. Santa Marta: Editorial Unimagdalena, pp. 31-63.
- Wang, H., Zhang, W., Chen, L., Wang, J. y Liu, T. (2013). The contamination and control of biological pollutants in mass cultivation of microalgae. *Bioresource Technology*, 128, 745-750.

# Diseño y prototipo de un precipitador electrostático

## Design and prototype of an electrostatic precipitator

**Juan Felipe Rodríguez**

Semillero s1ro, Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Bogotá, D. C., Colombia  
<http://orcid.org/0000-0001-8105-1616>

**Uriel Faruk Alarcón Pinto**

Semillero s1ro, Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Bogotá, D. C., Colombia  
<http://orcid.org/0000-0002-1990-024X>

**Olmer García Bedoya**

Profesor departamento de Ingeniería Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Bogotá, D. C., Colombia  
<http://orcid.org/0000-0002-6964-3034>  
[olmer.garciab@utadeo.edu.co](mailto:olmer.garciab@utadeo.edu.co)

**Germán Benavides**

TadeoLab, Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Bogotá, D. C., Colombia  
<http://orcid.org/0000-0002-3055-4384>

---

**Fecha de recepción: 13 de junio de 2017**

**Fecha de aceptación: 08 de agosto de 2017**

---

**Sugerencia de citación:** Rodríguez, J. F., Alarcón, U. F., García Bedoya, O. y Benavides, G. (2017). Diseño y prototipo de un precipitador electrostático. *Mutis*, 7(2), 86-95, doi: <http://dx.doi.org/10.21789/22561498.1237>

---

**Editor:** Díaz, C. [cesaro.diazb@utadeo.edu.co](mailto:cesaro.diazb@utadeo.edu.co)

---

## RESUMEN

En vista del alto grado de contaminación que se presenta hoy en día, se han comenzado a buscar medidas para combatir y regular este problema. Entre estas medidas están los precipitadores electrostáticos (PES), dispositivos usados en el proceso de purificar el medio ambiente. Este proceso se realiza por medio de alta tensión de voltaje en placas de metales para generar campos eléctricos que atrapan las partículas de contaminantes. De esta manera se purifica el aire del ambiente. Para el proyecto se utiliza un circuito que aumenta la tensión de la red local (120 V) a 27 000 voltios por medio de un transformador conocido como *flyback*. Este proyecto busca diseñar y construir un dispositivo de este tipo con elementos de fácil adquisición, con la finalidad de entender cómo puede ser usado en hogares y zonas urbanas. Se logró realizar un prototipo eficaz para limpiar el aire con elementos y materiales de bajo costo.

**Palabras clave:** Arduino, precipitador electrostático, flyback, calidad del aire.



## ABSTRACT

In view of the high degree of contamination that occurs today, they have begun to seek measures to combat and regulate this problem. One of these measures are electrostatic precipitators (ESPs), used in the process of purifying the environment by means of high voltage stress plates metals to generate electric fields which trap contaminant particles purifying thus air devices ambient. Project a circuit for increasing the voltage of the local network (120 V) to 27 000 volts by a transformer, known as flyback used. The purpose of this project is to demonstrate the efficacy of this device, and how it can be built with economical and affordable materials for deployment in homes and urban areas. It was possible to raise an effective air cleaning elements and materials with low-cost prototype.

**Keywords:** Arduino, electrostatic precipitator, flyback, air quality.

## INTRODUCCIÓN

Según la Organización Mundial de la Salud, Bogotá, una de las principales ciudades de Colombia, es una de las que tienen peor calidad de aire. En 2014, según esta entidad, Bogotá presentaba una concentración de partículas de  $PM_{10}$  de 48 microgramos por metro cúbico, que se considera casi el triple del tope internacional. Las altas tasas de contaminación en el aire han obligado a dictar medidas como la de no recomendar el ejercicio en zonas abiertas en ciudades como Shanghái, Ciudad de México o Medellín. Esto ha impulsado la búsqueda de diferentes técnicas para controlar y atacar la generación de la contaminación. Entre ellas están los precipitadores electrostáticos, que son ampliamente utilizados en la industria. En este proyecto se busca diseñar y probar un dispositivo de este tipo con elementos de fácil adquisición con la finalidad de entender cómo puede ser usado en zonas urbanas como casas y oficinas.

En Colombia, el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, a finales del año 2010 creó un protocolo para controlar y vigilar la contaminación (MAVDT, 2010). En él, como respuesta al artículo 72 de la Resolución 909 del 5 de junio de 2008 (Resolución 909, 2008), se evaluó y se estudió la implementación de sistemas para ayudar a controlar la contaminación en casos de fuentes fijas de contaminación, por medio de precipitadores electroestáticos. Según la Resolución 909 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, las fuentes fijas de contaminación se pueden clasificar, de acuerdo con la envergadura y

distribución espacial de las emisiones, en fuentes fijas puntuales y fuentes fijas difusas o dispersas.

La precipitación electrostática de las moléculas se dio a conocer en los primeros años del siglo xx. Desde esa época su aplicación en las industrias ha ido creciendo. En la actualidad es uno de los procesos de eliminación de moléculas más empleados en las industrias. Como es presentado en Sokhi (2005), el principio del precipitador electrostático fue desarrollado por el físico y químico estadounidense Frederick Gardner Cottrell, profesor de la Universidad de California, en Berkley, quien en 1906 también desarrolló el primer precipitador electrostático (PES) comercial, exitoso, que fue instalado en una planta manufacturera de ácido cerca de Pinole, California.

En la actualidad existen varios tipos de PES:

*Precipitador placa-alambre:* es un tipo de precipitador utilizado principalmente por industrias que hacen uso del calor, como las calderas que queman el carbón, los hornos de cemento, hornos de chimenea abierta, etc.

*Precipitador tubular o tubo-alambre:* los PES originales eran tubulares, como las chimeneas, donde eran colocados, con los electrodos a alto voltaje orientados a lo largo del eje del tubo. Los precipitadores tubulares tienen aplicaciones típicas en plantas de adición de ácido sulfúrico, limpieza del gas subproducto de los hornos de coque (remoción de alquitrán) y, recientemente, plantas de sinterización de hierro y acero. Tales unidades tubulares aún son utilizadas para

algunas aplicaciones; suelen tener muchos tubos en paralelo para manejar mayores flujos de gas. Los tubos pueden tener forma de panel circular, cuadrado o hexagonal, y el gas fluye hacia arriba o hacia abajo (Turner, Lawless, Yamamoto y Coy Turner, 1999).

**Precipitador de placas planas:** utiliza placas como reemplazo de alambres para los electrodos expuestos al alto voltaje. Las placas planas ayudan a intensificar el campo eléctrico, que se usa para la recolección de partículas; también aporta una mayor área para la recolección de estas.

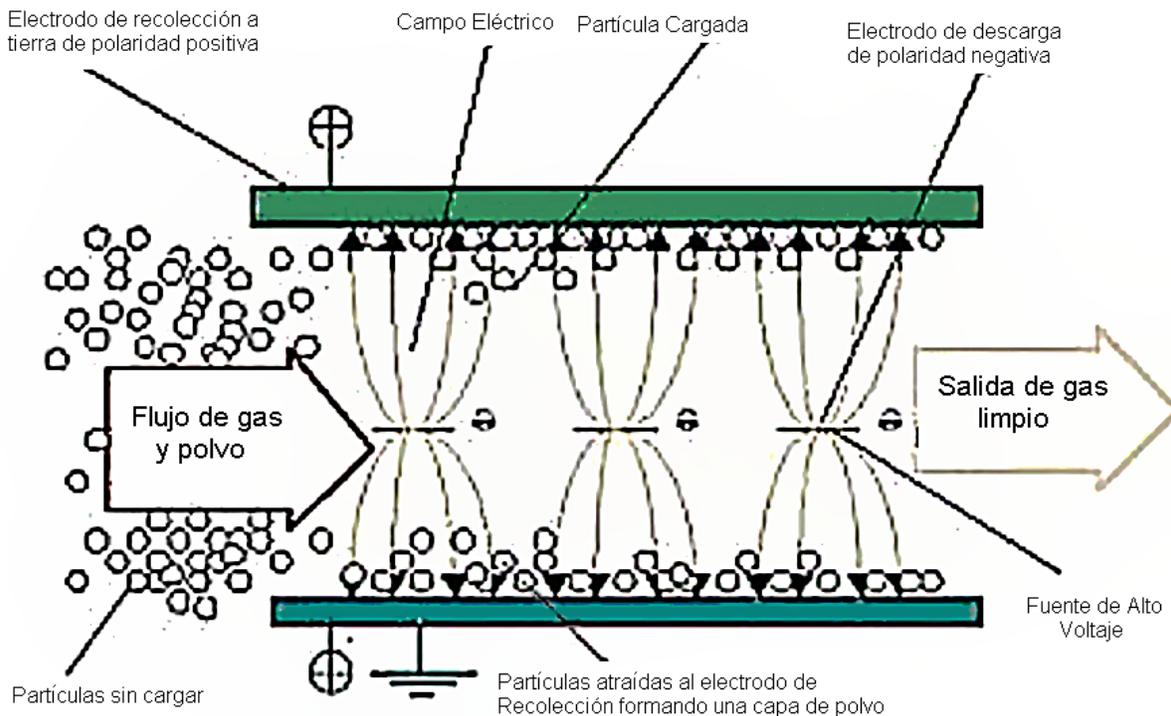
**Precipitador húmedo (PEH):** recibe este nombre debido a que cualquiera de los otros tipos ya mencionados se puede configurar para que se reemplacen las paredes secas o placas por paredes húmedas. Los PEH se utilizan en situaciones en las que los precipitadores electrostáticos secos (PES) no son apropiados, cuando el material por recolectar está húmedo, pegajoso, es inflamable, es explosivo o tiene una resistividad alta (Fernández, 2012).

El presente artículo, primero, presenta una descripción de los principios de funcionamiento del PES; segundo, muestra el proceso de diseño y desarrollo del prototipo de placas planas; tercero, indica los resultados experimentales del prototipo por medio de mediciones de contaminación a la entrada y a la salida, y, finalmente, presenta las conclusiones y los trabajos futuros.

## EL PRECIPITADOR ELECTROESTÁTICO

El principio de ionización es la base del funcionamiento de un PES, es decir, las partículas que pasan a través de las placas se ven afectadas por un campo eléctrico, lo que hace que estas se carguen eléctricamente. Los gases pasan por el interior de una cámara, lugar donde se crea el campo electrostático formado por electrodos de descarga (negativo) y electrodos colectores (positivo); ambos electrodos son de placas de cobre. Cuando pasa el gas por las placas, este se carga negativamente debido al principio de ionización, y es atraído a los electrodos colectores debido a su diferente carga eléctrica (figura 1). A continuación se presentan los conceptos físicos utilizados para el diseño del dispositivo.

Figura 1. Principio del precipitador electrostático



Fuente: Guerrero, 2014

### A. Velocidad de deriva

La velocidad de deriva  $w_e$  es el resultado del balance entre la fuerza electrostática, gracias a la carga  $F_e$ , y la fuerza de arrastre,  $F_d$ , ejercida por el aire debido a la relación del movimiento entre el aire y las partículas:

$$E = \frac{\Delta V}{d}$$

$$F_e = \text{carga} \times \text{campo eléctrico} = qE$$

$$F_d = \text{fuerza de arrastre} = \frac{3\pi \mu_f d_p w_e}{C_c} \quad (1)$$

$$F_d = F_e \rightarrow \frac{3\pi \mu_f d_p w_e}{C_c} = qE = w_e = \frac{C_c qE}{3\pi \mu_f}$$

Donde:

- Q = carga de cada partícula
- E = campo eléctrico
- $C_c$  = factor Cunningham
- $\mu_f$  = viscosidad del fluido =  $1.81 \times 10^{-5}$  kg/ms por aire a temperatura ambiente
- $d_p$  = diámetro de la partícula

La carga  $q$  adquirida por la molécula, que es  $1.6 \times 10^{-19}$  C (coulomb). Por ejemplo, la carga de una partícula que adquiere 10 electrones sería:

$$q = 10 \times 1.6 \times 10^{-19} \text{ C} = 1.92 \times 10^{-18} \text{ C}$$

El número de electrones adquiridos depende de la intensidad de la corona que se genera cerca de los electrones y, a la vez, es proporcional al campo eléctrico. De esta forma, es proporcional a lo que hace que la fuerza eléctrica sea proporcional a  $E^2$ .

Esta es la fórmula para determinar la carga adquirida por una partícula:

$$q = \pi d_p^2 \epsilon_0 \frac{3\epsilon}{2 + \epsilon} E_{ch} \quad (2)$$

Donde

$\epsilon_0 = 8,854 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{Vm}^2$ . = permitividad del vacío

$\epsilon = 3.7$  = constante dieléctrica de la partícula respecto al vacío

$E_{ch}$  = carga de la intensidad del campo en (V/m)

### B. Rendimiento

El rendimiento o eficacia es definido como el porcentaje de eliminación de partículas. Se puede hallar con la siguiente fórmula:

$$n = \frac{\text{Partículas removidas}}{\text{Partículas de entrada}} = \frac{C_{in} - C_{out}}{C_{in}} = 1 - \frac{C_{out}}{C_{in}}$$

$$= 1 - \exp\left(-\frac{w_e L}{U d}\right) \quad (3)$$

Dado que la velocidad de flujo U es el flujo volumétrico Q dividido por la sección de área transversal  $W_d$ , también se puede definir la eficacia así:

$$n = 1 - \exp\left(-\frac{w_e W L}{Q}\right) = 1 - \exp\left(-\frac{w_e A}{Q}\right) \quad (4),$$

donde el área de las placas es el producto del largo por el ancho:  $A=WL$ .

Las anteriores fórmulas nos permitieron determinar que la capacidad del PES depende del tamaño de las placas, la separación entre ellas y el voltaje, que debe ser seleccionado de acuerdo con el tamaño y tipo de las partículas.

## DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL PRECIPITADOR

El PES, como fue mostrado en la sección anterior, depende del campo eléctrico, que es proporcional al voltaje aplicado en las placas, al tipo de contaminante y a la geometría del mismo. A continuación se presenta cómo fue diseñada la fuente de alimentación, la fuente contaminante de pruebas y, finalmente, el diseño físico del dispositivo.

### A. Fuente de alimentación eléctrica

Se escogió como fuente de alimentación un *flyback*, que es un convertidor DC a DC con aislamiento galvánico entre entrada y salida, que es capaz de almacenar toda la energía en el núcleo magnético. El modelo de este convertidor es FC20a25 (figura 2), común en los televisores de rayos catódicos. Este maneja un voltaje de salida de 27 000 voltios.

Figura 2. Modelo de flyback<sup>1</sup>

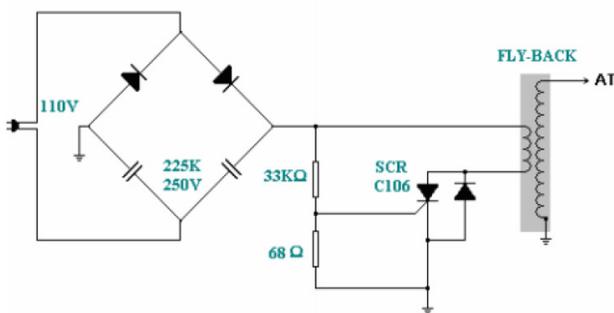
La figura 3 muestra el circuito que se utiliza para alimentar el transformador, que consta de tres partes.

**Duplicador de voltaje:** en el semiciclo positivo de la onda de entrada se polariza en directo uno de los diodos, que carga el condensador a la tensión pico. La polaridad es positiva (+). El otro diodo está en inverso y no conduce.

En el semiciclo negativo se polariza en directo el segundo diodo, que carga el otro condensador a la tensión pico máxima de la onda de entrada. La polaridad es negativa (-).

Los dos condensadores están en serie, las tensiones almacenadas se suman, y se logra el doble de la tensión. Este doblador de tensión es la fuente del circuito oscilador con rectificador controlado de silicio (SCR).

Figura 3. Circuito doblador de voltaje



1 Para ver el flyback en funcionamiento se puede visitar esta URL [https://youtu.be/Kyq\\_iEATkFE](https://youtu.be/Kyq_iEATkFE) (consultado el 12 de septiembre de 2017)

**Oscilador de relajación:** el rectificador controlado de silicio (SCR por sus siglas en inglés) descarga el condensador a través del primario del flyback cuando la tensión de la compuerta supera la tensión de disparo.

**Transformador elevador de voltaje:** “Los transformadores son máquinas estáticas capaces de cambiar los valores de la tensión. El transformador está formado por un núcleo de material sensible al campo magnético, con un bobinado primario conectado a un generador y un bobinado secundario conectado al circuito de utilización.

La tensión del bobinado primario  $V_1$  crea un campo magnético que recorre el circuito magnético y que induce una tensión  $V_2$  en el secundario. La relación entre las tensiones se llama *relación de transformación* y viene dada por la expresión” (Santander, s. f.):

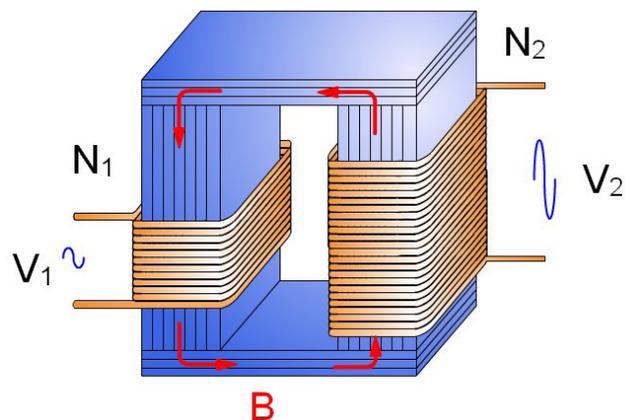
$$V_1 \cdot I_1 = V_2 \cdot I_2 \quad (5)$$

La figura 4 muestra cómo el voltaje de salida de alta tensión del transformador  $V_2$  es dada por la multiplicación entre el voltaje de entrada  $V_1$  por el embobinado secundario  $N_2$  sobre el embobinado primario  $N_1$ .

$$V_2 = \frac{N_2}{N_1} V_1$$

$$V_1 = \frac{N_1}{N_2} V_2$$

Figura 4. Diseño flyback



Fuente: Onuba Electrónica, s. f.

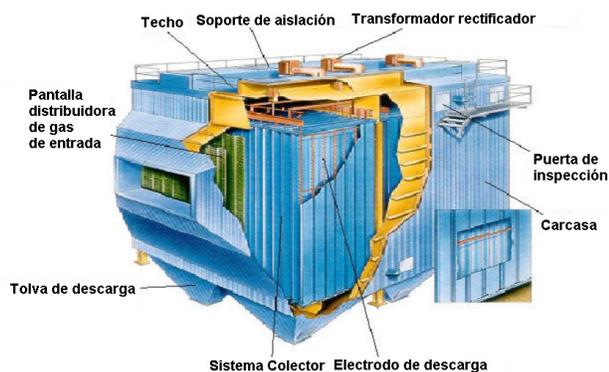
## B. Fuente de contaminación

Se escoge como fuente contaminante la quema de materiales, como la madera, carbón, papel y cigarrillos, ya que la polución de estos es la más común en cualquier lugar del mundo, incluyendo hogares e industrias, son financieramente asequibles y fáciles de manipular, y simulan situaciones perfectas, como un campo industrial o un incendio forestal.

## C. Diseño del dispositivo

El diseño del PES se basó en uno de los tipos industriales, como se muestra en la figura 5. El tipo de PES es de placas planas. Estas placas tienen una medida de 20 cm x 11 cm x 0.4 cm. Las placas, que son enteramente de cobre, están ubicadas en parejas, excepto por las placas extremas, las cargas de las placas son intercaladas de negativo a positivo, lo que hace que las placas de carga negativa sean las de los extremos.

Figura 5. Precipitador industrial



Fuente: Fernández, s. f.

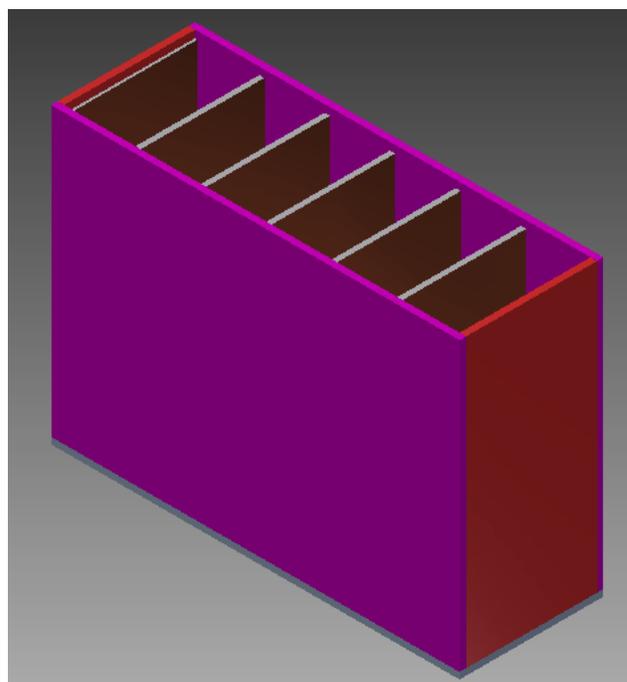
Se empezó a trabajar con el circuito y el transformador para evaluar el rendimiento y la capacidad de descarga "efecto corona". Por manejar un alto voltaje, se mantuvo cierta distancia entre el cable positivo y el negativo del transformador.

Se hizo una prueba con dos placas para observar la cantidad de descargas que ocurrían en un tiempo de-

terminado; a la vez, se observó cómo las placas reaccionaron con pedazos de papel quemado.<sup>2</sup>

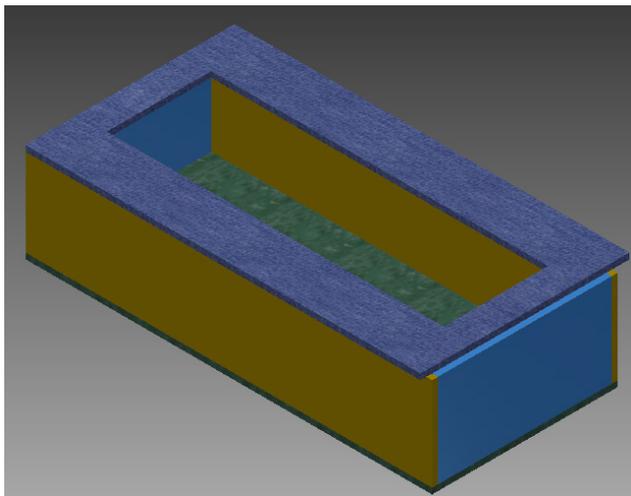
El modelo y la distancia de las placas se basaron tanto en el campo eléctrico que crean, como en la frecuencia de las descargas entre las placas. Con base en lo anterior se empezó a trabajar en un modelo 3D, como se muestra en la figura 6.

Figura 6. Caja de placas

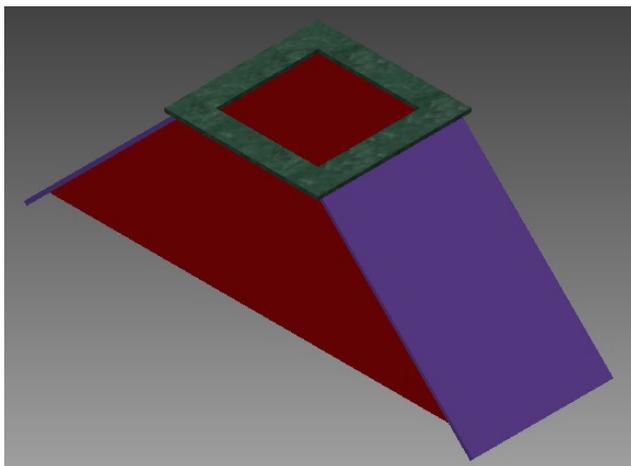


La cámara de aire (figura 7), es el lugar donde son atraídas las partículas por medio del flujo de aire que genera un ventilador. Es configurable en el interior para poder dirigir de la forma más efectiva la corriente de aire hacia las placas. En esta misma estructura se ubica uno de los sensores de gases, que mide el porcentaje del contaminante que se encuentra en este espacio antes de ser llevado hacia las placas.

<sup>2</sup> Se pueden observar los resultados en <https://youtu.be/03J8EbMQydo> (consultado el 12 de septiembre de 2017).

**Figura 7.** Cámara de aire

La figura y las medidas en la versión de CAD se basaron en las dimensiones de las placas, debido a la necesidad de ajustarse y sostenerse de forma vertical. El material con el cual fue construido es el acrílico; de esta manera se puede observar el proceso interno de la planta. La figura 8 es el modelo del techo, en el que está ubicado uno de los sensores de gases; de esta manera se puede medir el porcentaje del contaminante que fue atrapado por el precipitador.

**Figura 8.** Techo del precipitador

Las figuras 9, 10 y 11 muestran las partes en CAD ya cortadas y ensambladas en el material antes mencionado.

**Figura 9.** Precipitador ensamblado**Figura 10.** Cámara de aire ensamblada**Figura 11.** Techo ensamblado

## RESULTADOS EXPERIMENTALES

Para obtener resultados experimentales que permitan validar la utilidad del precipitador fue necesario diseñar un sistema de instrumentación, que fue implementado por medio de un Arduino y unos sensores que funcionan como nariz electrónica. A continuación son explicados la implementación de la instrumentación y algunos resultados experimentales.<sup>3</sup>

### A. Instrumentación

Para calcular el porcentaje de partículas en la entrada y salida del sistema se implementa el uso del sensor de calidad de aire MQ-135 (figura 12). Este sensor de aire es usado para la detección de contaminación en el medio ambiente, y generalmente es implementado en circuitos de control, como alarmas en las casas, sitios donde se desea prevenir altos niveles de contaminación a nivel aeróbico, como industrias que manejan mezclas químicas que pueden ser perjudiciales para la salud, principalmente en equipos controladores de calidad de aire en edificios u oficinas. Este sensor se encarga de la detección de la densidad de gases en diversos porcentajes.

La señal de salida que proporciona este sensor es dual, de carácter analógico y digital. La señal analógica proporcionada es directamente proporcional al incremento de voltaje; en cuanto a la señal digital, presenta bajos niveles de tensión, por lo que esta puede ser procesada por un microcontrolador, como entrada o salida (esto depende de la necesidad del usuario).

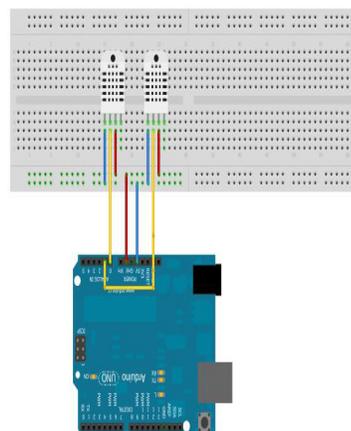
Los sensores son programados mediante el uso de Arduino, que es un hardware libre que permite la programación de entradas y salidas análogas para el control de procesos o sensores, según la necesidad del usuario. El circuito consiste en conectar los pines de voltaje de los sensores a la entrada de 5 V del Arduino y los pines análogos van conectados a las entradas A0 y A1. Una ilustración del circuito es mostrada en la figura 13.

<sup>3</sup> Se pueden observar los resultados en <https://youtu.be/QivPyYQM-6RM> (consultado el 12 de septiembre de 2017).

Figura 12. Sensor de calidad de aire (HAOYU Electronics, 2016)



Figura 13. Circuito de sensores



Made with Printwing.org

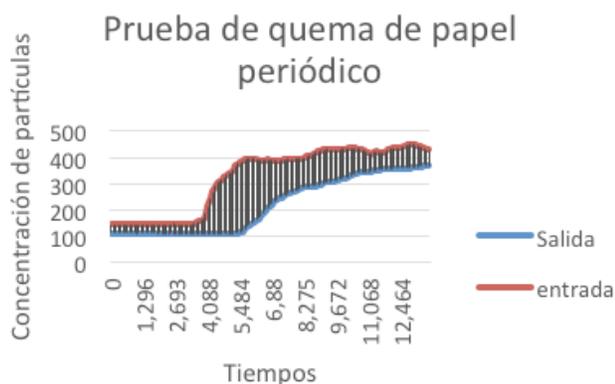
### B. Experimento

Mediante el arreglo en la planta se ubican dos sensores de manera que uno esté en la cámara de aire a la entrada del contaminante “sensor 1”, para así medir la concentración de este en el espacio cerrado de trabajo; el segundo sensor se ubica en la salida “sensor 2” de la planta, luego de que se realice el proceso de purificación, para de esta manera medir la concentración de partículas a la salida. Se experimentó utilizando como

contaminante papel periódico encendido en la cámara de aire. El humo desprendido por el papel ascendía hacia las placas de cobre, que por medio del campo magnético que en ellas se generaba atrapaba gran parte de las partículas. Se observó que el humo, al salir, tenía una menor concentración que en la cámara de aire.

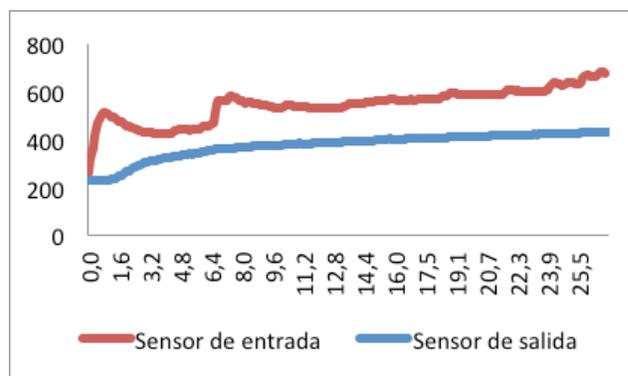
La figura 14 muestra el resultado del experimento ya explicado. En ella se observan dos curvas de resultados: la roja es el sensor 1, y la azul, el sensor 2. Se tomaron las muestras en un intervalo de tiempo de 0 a 13 segundos en un periodo de muestreo de 100 ms. En el tiempo de 0 a 3,8 segundos no se aplica el contaminante, por lo cual los sensores no presentan alteraciones. En el siguiente lapso de tiempo, que fue de 3,8 a 8,9 segundos, se registró una mayor diferencia en la concentración de contaminante entre los sensores 1 y 2. En el último intervalo de tiempo, entre los segundos 8,9 y 13, se registró una menor diferencia entre las mediciones de los sensores 1 y 2, debido a que la fuente de contaminante ya se había consumido.

Figura 14. Datos experimentales 1



La figura 15 muestra los resultados que se tomaron quemando carbón y madera. A diferencia de los resultados de la figura 14, estos fueron realizados teniendo un ventilador en modo extractor en la salida del precipitador. Los picos observados en la fuente de alimentación ocurren principalmente por la succión del extractor, lo que demuestra que la instrumentación y el precipitador funcionan ante diferentes velocidades del flujo del aire.

Figura 15. Datos experimentales 2



## CONCLUSIONES

El prototipo de un precipitador electrostático fue implementado satisfactoriamente. Las ventajas del prototipo son los materiales de construcción, que son fáciles de conseguir y que tienen un costo de mantenimiento cercano a cero. Se aplicó el modelo de placas planas debido a que el diseño era más sencillo de construir con elementos de fácil obtención. Este prototipo se puede aplicar en contaminantes como el humo y las cenizas que produce la quema de carbón, papel, cigarrillos y madera.

Fue desarrollado un sistema de instrumentación con dispositivos de prototipado para medir los efectos del precipitador electrostático utilizando sensores de calidad del aire. Durante la experimentación pudimos resaltar que a mayor cantidad de voltaje aplicado en las placas se generaba mayor atracción de partículas, incluso partículas más pequeñas.

Trabajos futuros contemplan probar el dispositivo con una bobina de ignición y probar con otras fuentes de contaminación, como motores de vehículos.

## REFERENCIAS

- Cushman-Roisin, B. (2015). Notes of course introduction to environmental engineering. Disponible en <http://engineering.dartmouth.edu/~d30345d/courses/engs37/esps.pdf>

- Fernández, M. A. (s. f.). Seguridad y saneamiento industrial. Disponible en [http://managingfactory.com.ar/demo\\_ebooks\\_tecnicos/ebook\\_de\\_seg\\_saneam\\_indi.pdf](http://managingfactory.com.ar/demo_ebooks_tecnicos/ebook_de_seg_saneam_indi.pdf).
- Fernández Sandoval, E. (2012). Mejoras en la eficiencia de los colectores de polvo tipo Jet Pulse y precipitador electrostático (tesis de grado). Piura (Perú): Universidad de Piura, Facultad de Ingeniería, p. 81.
- Guerrero, D. B. (2014). Slide Share. Disponible en <http://es.slideshare.net/shonEiter/produccion-de-cido-sulfurico>.
- Haoyu Electronics. (2016). Disponible en <http://www.hotmcu.com/mq135-gas-sensor-for-air-quality-p-165.html>.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (2010). Protocolo para el control y vigilancia de la contaminación atmosférica generada por fuentes fijas. Disponible en [http://www.sisaire.gov.co:8080/faces/docs/12-3-2012-0-25-29-818-1-1Cambios\\_al\\_Protocolo\\_para\\_el\\_control\\_y\\_vigilancia\\_de\\_la\\_Contaminaci%F3n\\_Atmosf%E8rica\\_generada\\_por\\_fuentes\\_fijas.pdf](http://www.sisaire.gov.co:8080/faces/docs/12-3-2012-0-25-29-818-1-1Cambios_al_Protocolo_para_el_control_y_vigilancia_de_la_Contaminaci%F3n_Atmosf%E8rica_generada_por_fuentes_fijas.pdf)
- Onuba Electronica (s. f.). Los transformadores. Disponible en <http://www.onubaelectronica.es/los%20transformadores.htm>.
- Resolución 909 de 2008 (15 de julio). *Diario Oficial*, n.º 47051.
- Santander, S. M. (s. f.). El transformador: Construcción. Disponible en <https://tecnoblogsanmartin.wordpress.com/category/tecnologia-3%C2%BA-e-s-o/unidad-4-energia-tecnologia-3%C2%BA-e-s-o/4-3-el-transformador/>.
- Sokhi, R. S. (2005). Air pollution control engineering. En L. Wang, N. Pereira y Y. Hung (eds.) *Handbook of environmental engineering* (vol. 1). New York: Humana Press.
- Turner, J., Lawless, P., Yamamoto, T., Coy, D. y Research Triangle Institute (1999). Precipitadores electrostáticos. United States: Environmental Protection Agency, p. 9.

# MUTIS

REVISTA DE CIENCIAS NATURALES E INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD DE BOGOTÁ JORGE TADEO LOZANO

## Instrucciones para autores

### ENVÍOS DE ARTÍCULOS

La revista *Mutis* acepta permanentemente los siguientes tipos de artículos:

1. Artículo de investigación científica y tecnológica: documento que presenta, de manera detallada, los resultados originales de proyectos terminados de investigación.
2. Artículo de métodos: documento que presenta la invención o estandarización de un método experimental, computacional, o educativo, entre otros.
3. Artículo de revisión (estado del arte): es una revisión bibliográfica de por lo menos 50 referencias, con el fin de dar cuenta sobre los avances y las tendencias de desarrollo de un campo particular de las ciencias naturales e ingeniería.
4. Comunicación corta: documento que presenta resultados parciales de una investigación en desarrollo cuya publicación sea de gran importancia.

Los trabajos que se presentan a consideración de la revista *Mutis* se deben enviar vía correo electrónico a revista.mutis@utadeo.edu.co (Asunto: artículo revista *Mutis*) en formato de procesador de texto habilitado para modificaciones (Microsoft Word). El artículo debe estar escrito en español o inglés, con una extensión máxima de 25 páginas (incluyendo tablas, figuras y referencias), con márgenes simétricas de 2 cm, sin columnas, con títulos y subtítulos alineados a la izquierda, en letra Times New Roman, tamaño 12 y en espacio doble. Para facilitar el proceso de evaluación, se deben numerar todos los renglones del trabajo. Los trabajos deben tener la siguiente estructura y cumplir con los siguientes requisitos:

**Tipo de artículo.** El tipo de artículo (*short communication, research article o review article*) debe ser colocado en mayúscula, negrilla y alineado a la derecha en la parte superior.

**Título.** El título debe representar con precisión y de manera concisa el contenido del trabajo sin exceder 15 palabras. Se debe escribir con letras tamaño de fuente 16, en minúsculas, en negrilla y alineado a la izquierda.

**Título corto.** Debe sugerirse un título corto de no más de 5 palabras que resuma el título original, el cual se colocará en las páginas impares del texto publicado.

**Autores.** Debe escribirse el nombre completo de los autores, separados por comas y en tamaño de fuente 12. El autor para correspondencia debe marcarse con un asterisco como superíndice al final del apellido. Cada afiliación debe estar precedida por el número que se insertó como superíndice al final del apellido de cada autor. No se deben incluir títulos académicos ni las posiciones o cargos que los autores ocupan. Las afiliaciones se deben escribir en este orden: Universidad, facultad, programa, laboratorio o grupo (si aplica), dirección, ciudad, país, \*correo electrónico de cada uno de los autores y número de registro en OrcID. Ejemplo:

Yvonne Sarmiento Rangel,<sup>1</sup> Ariadna Hazel Vergel<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Universidad Jorge Tadeo Lozano, Facultad de Ciencias Naturales e Ingeniería, Departamento de Ciencias Naturales y Ambientales. Grupo de Investigación Genética, Biología Molecular y Bioinformática – (Genbimol), Carrera 4 n.º 22-61, Bogotá D. C., Colombia. CP 011110

<sup>2</sup>Instituto de Investigaciones de Viandas Tropicales (INIVIT), Apartado 6, Santo Domingo, Villa Clara, Cuba. CP 53000.  
Correo electrónico: arhazel@inivit.cu  
<http://orcid.org/0000-0000-0000-0000>

**Resumen.** Debe tener un máximo de 250 palabras. El texto del resumen debe ir en fuente Times New Roman de 12 puntos. El resumen debe incluir objetivo, métodos, resultados concretos de la investigación y una conclusión general.

**Palabras clave.** Deben escogerse un máximo de 5 palabras claves. Palabras diferentes incluidas en el título.

**Abstract.** Debe ser una traducción correcta y precisa al idioma inglés del resumen que aparece en español. Se usa el mismo estilo ya descrito para el resumen en español.

**Keywords.** Debe ser una traducción correcta y precisa al idioma inglés de las palabras clave que aparecen en español. Se usa el mismo estilo ya descrito para las palabras clave en español.

**Introducción.** Aquí se habla sobre el origen de la investigación, interés y visión general del tema que se va a tratar.

**Materiales y métodos.** No aplica para artículo de revisión. Descripción detallada de técnicas, equipos y reactivos utilizados en el desarrollo de la investigación.

**Resultados.** No aplica para artículo de revisión. Se hace una presentación clara de los resultados de la investigación.

**Discusión.** Aquí se realiza la interpretación y el análisis de los resultados de investigación comparándolos con resultados previamente publicados. Pueden presentarse tablas o figuras para sintetizar los resultados. Si se han realizado análisis estadísticos, se deberá describir la procedencia de los datos y el método estadístico empleado.

**Conclusiones.** Deben basarse en los resultados obtenidos y estar relacionadas con la hipótesis o el planteamiento del problema descrito en la introducción.

**Agradecimientos.** Los autores agradecerán de manera corta y concisa a instituciones o personas que hayan aportado de manera relevante a la investigación. Es de carácter opcional.

**Ecuaciones.** Las ecuaciones se deben escribir centradas con respecto al texto principal y se deben numerar continuamente a lo largo del texto. Cada ecuación debe estar enumerada con un número entre paréntesis ubicado en el margen derecho del texto.

El significado y las unidades deben explicarse inmediatamente después de la ecuación en que se utilicen por primera vez.

**Cantidades y unidades.** En todas las cantidades numéricas se debe utilizar una coma para separar los miles y un punto para indicar las cifras decimales. Se recomienda utilizar el Sistema Internacional de Unidades.

**Tablas.** Las tablas se deben numerar continuamente a lo largo del texto. El encabezado de cada tabla debe incluir la palabra **Tabla** (en negrilla) seguida del número arábigo consecutivo correspondiente, y de una breve descripción del contenido de la tabla. Tanto el encabezado como el contenido de la tabla se deben escribir en fuente de 10 puntos. Solo deben usarse líneas horizontales para separar las entradas de la tabla. No deben usarse líneas verticales para separar las columnas. En el caso de necesitarse algún pie de tabla, este debe estar escrito con fuente de 8 puntos. Las tablas no deben duplicar la información dada en las figuras.

**Figuras.** Las figuras (o fotografías) se deben numerar de manera consecutiva a lo largo del texto. El rótulo de cada figura debe estar en la parte inferior de la figura y debe incluir la palabra **Figura** (en negrilla) seguida del número arábigo correspondiente, y de una breve descripción del contenido de la figura. El rótulo de la figura se debe escribir en fuente de 10 puntos. Las figuras deben incluirse como imágenes originales importadas o copiadas al archivo del trabajo desde una herramienta gráfica (por ejemplo, de *Microsoft Excel*) con una resolución de 300 dpi, de tal manera que la legibilidad no se sacrifique cuando el tamaño de las figuras se ajuste durante el proceso de edición. No se publicará por ningún motivo información de fotografías descargadas por internet sin el permiso expreso del autor.

**Referencias bibliográficas.** Se debe utilizar a lo largo del texto el sistema de citación APA, que utiliza los apellidos de autores seguidos del año de publicación entre paréntesis. La lista de las referencias se debe situar al final del documento, después de la sección de Conclusiones, y debe estar organizada en orden alfabético de acuerdo a la inicial del primer apellido del primer autor. En esta lista solamente se deben colocar las referencias citadas en el texto. Todas las referencias se deben escribir en fuente de 12 puntos Times New Roman.

## EJEMPLOS

### ARTÍCULO

Giraldo, G., Talens, P., Fito, P., y Chiralt, A. (2003). Influence of sucrose solution concentration on kinetics and yield during osmotic dehydration of mango. *Journal of food Engineering*, 58(1), 33-43.

### LIBRO

Shames, I. H., y Shames, I. H. (1982). *Mechanics of fluids* (pp. 8-36). New York: McGraw-Hill.

### CAPÍTULO DE LIBRO

Bertucco, A. (2002). Micronization of a polysaccharide by a supercritical antisolvent technique. En J. y Williams (ed.), *Supercritical fluids methods and protocols* (pp. 335-412). New Jersey: Humana Press, Inc.

### DOCUMENTO DE INTERNET

Benson, T. (Nov. 17, 2005). Forces on a Rocket. Consultado el 2 de octubre de 2008, disponible en <http://exploration.grc.nasa.gov/education/rocket/rktfor.html>

### TESIS DE GRADO

Yépez, B. (2009). Glicerólisis e hidrólisis de triglicéridos saturados, en dióxido de carbono supercrítico. Tesis doctoral, Escuela de Ingeniería Química, Universidad del Valle, Cali, Colombia.

En caso de dudas comunicarse el editor a [revista.mutis@utadeo.edu.co](mailto:revista.mutis@utadeo.edu.co). Estas instrucciones quedan supeditadas a los cambios que el Comité Editorial disponga.



ESTA REVISTA ELECTRÓNICA  
ES EDITADA POR LA  
UNIVERSIDAD DE BOGOTÁ  
JORGE TADEO LOZANO.  
SE FINALIZÓ  
EN EL MES DE DICIEMBRE  
DE 2017