

ISSN: XXXXXXXXXX  
E- ISSN: XXXXXXXX

# Journal of Research in Engineering Sciences

Facultad de Ingeniería



**UNIAGRARIA**  
Fundación Universitaria Agraria de Colombia

LA U VERDE  
DE COLOMBIA

Número

**01**

Enero-Diciembre 2016

## Journal of Research in Engineering Sciences

Vol. 1 – Núm. 1

Enero – Diciembre de 2016

Facultad de Ingeniería

© Fundación Universitaria Agraria de Colombia – Uniagraria

Bogotá D.C. 2016

ISSN: XXXXXXX

E-ISSN: XXXXXX

### DIRECTOR

Adriana L. Mejía Terán  
Decana Facultad de Ingeniería

### EDITOR

Deivis Suárez Rivero  
Coordinador de Investigación  
Facultad de Ingeniería y Ciencias Básicas

### COORDINACIÓN EDITORIAL

Facultad de Ingeniería y Ciencias Básicas  
Fundación Universitaria Agraria de Colombia

### Rector

Jorge Orlando Gaitán Arciniegas

### Vicerrector de Formación

Pedro Pablo Martínez Méndez

### Vicerrector Financiero

Iván Alejandro Ramírez Bermúdez

### Vicerrector de Investigación

Álvaro Mauricio Zúñiga Morales

### Vicerrector de Extensión

Claudia Patricia Toro Ramírez

### Secretario General

John Jairo Guarín Rivera

### Asamblea General

Héctor Jairo Guarín Avellaneda  
(*Presidente*)

### Consejo Superior

Álvaro Zúñiga García  
(*Presidente*)

Teresa Escobar de Torres

Teresa Arévalo Ramírez

Emiro Martínez Jiménez

Jorge Orlando Gaitán Arciniegas

Héctor Jairo Guarín Avellaneda

Álvaro Ramírez Rubiano



Los textos de los artículos de esta publicación pueden ser reproducidos citando la fuente. Los juicios emitidos por los autores son de su responsabilidad. Por tanto, no comprometen a la Fundación Universitaria Agraria de Colombia – Uniagraria, al programa de Ingeniería Agroindustrial ni al Comité editorial.

Journal of Research in Engineering Sciences by Universidad Agraria de Colombia – Uniagraria is licensed under a Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 3.0 Unported License.

La publicación 'Journal of Research in Engineering Sciences' es producto de de la Universidad Agraria de Colombia -Uniagraria bajo el ISSN: XXXXXX, en idioma español. Es un producto editorial protegido por el Copyright © y cuenta con una política de acceso abierto para su consulta, sus condiciones de uso y distribución están definidas por el licenciamiento Creative Commons (CC).

#### **COMITÉ EDITORIAL**

**Adriana L. Mejía Terán**  
Ingeniera Agroindustrial  
Maestría en Diseño y Gestión de Procesos

**Mauricio A. Sierra Sarmiento**  
Ingeniero Químico  
Maestría en Ingeniería Química

**Deivis Suárez Rivero**  
Ingeniero Agrónomo.  
Maestría en Biología Vegetal.

**Yudtanduly Acuña Monsalve**  
Ingeniera Biotecnológica. Maestría en Diseño y  
Gestión de Procesos

**Olga Marín Mahecha**  
Bióloga  
Maestría en Bioética

#### **COMITÉ CIENTÍFICO**

**Juana Luz Galindo Blanco**  
Ingeniera Agrónoma  
PhD en Medicina Veterinaria  
Instituto de Ciencia Animal – ICA, Cuba

**Arabel Elías Iglesias**  
Ingeniero Agrónomo  
PhD en Medicina Veterinaria  
Instituto de Ciencia Animal – ICA, Cuba

**Yoannis Domínguez Rodríguez**  
Biólogo, Máster en Biología Vegetal  
PhD en Biotecnología  
Universidade Estadual Paulista Júlio De Mesquita  
Filho, Brasil

#### **Carlos Mario Zuluaga**

Ingeniero Químico  
Especialización y Maestría en Ciencia y Tecnología  
de Alimentos.  
Doctor en Ingeniería Química, Colombia

#### **Juan José Reyes Pérez**

Ingeniero Agrónomo  
Doctor en Ciencias en el Uso, Manejo y  
Preservación de los Recursos Naturales, Universidad  
de Cotopaxi, Ecuador

#### **COMITÉ CIENTÍFICO ASESOR**

Maikel Suárez Rivero  
Jannet Ortiz Aguilar  
Addy Esperanza Puentes  
Luz Dary Agudelo Gutiérrez  
María Fernanda Sanabria Cepero  
Sergio L. Bermúdez Quintero  
César A. Gómez Suárez  
Flor A. Morales Rivera

#### **Corrección de textos**

Diana Carolina Sánchez

#### **Concepto Gráfico**

Diseño, Composición e Impresión  
Entrelibros e-book solutions  
[www.entrelibros.co](http://www.entrelibros.co)

#### **Diseño y diagramación**

Gladys Carolina Chavez Caballero

Bogotá - Colombia  
2016

#### **ISSN:**

XXXXXXX



## Contenido

<b>Editorial</b>	7
MSc. Deivis Suárez Rivero, MSc. Adriana Mejía Terán.	
<b>Plantas nativas para jardinería urbana, una alternativa para incrementar la biodiversidad en el Distrito Capital</b>	9
Bonilla, Yenith; Velasco, Patricia; Fajardo, Francisco.	
<b>Crecimiento y producción del cultivo de la arveja (<i>Pisum sativum L.</i>) en dos UICAU y con la aplicación de tres dosis del biofertilizante Caldo Super - 4</b>	17
Agudelo, Luz Dary; Sanabria, María Fernanda.	
<b>Aplicación de tres fertilizantes orgánicos en <i>Beta vulgaris</i> (remolacha) bajo el contexto de agricultura urbana en la ciudad de Bogotá</b>	27
Sanabria, María Fernanda; Agudelo, Luz Dary.	
<b>Modelo electromagnético para la velocidad volumétrica local de absorción de fotones en la fotocatalisis heterogénea</b>	41
Andrés Felipe López V.; Germán Ernesto Ramos B.	
<b>Agricultura tecnificada, limpia y competitiva</b>	55
Ortiz Jannet; Suárez Deivis; Puentes Addy Esperanza; Marín Olga; Mejía Adriana; Suárez Maikel; Gómez César Augusto.	
<b>Propuesta para el manejo nutricional en Palma de cera (<i>Ceroxylon quindiuense Wendl.</i>) bajo condición de crecimiento en malla vial de alto flujo vehicular</b>	65
Suárez, Deivis; Mejía, Adriana; Marín, Olga; Agudelo, Luz Dary; Suárez, Maikel.	
<b>Enzimas aplicadas para el desarrollo tecnológico en la industrial textil</b>	75
Montaño, Lina Paola.	

## Contenido

<b>Optimización del momento de cosecha de las semillas de (<i>Brachiaria híbrido</i> vc. CIAT BRO2/1752) Yacaré en condiciones de campo.</b> Suárez Rivero, Maikel; Padilla Corrales, Cesar R.; Febles Pérez, Gustavo; Suárez Rivero, Deivis; Nidia Fraga.	91
<b>Instrucciones para los autores</b>	99
<b>A los autores</b>	105

## Editorial

Actualmente se hace evidente la necesidad de perfeccionamiento de los procesos que rigen la economía mundial, basados en el pensamiento científico. El presuroso desarrollo de la ciencia y la técnica condiciona la incesante lucha por lograr altos niveles de eficiencia y eficacia en la resolución de problemáticas generadas en las diferentes actividades de la sociedad. Es por ello que la publicación *Journal of Research in Engineering Sciences* nace como un espacio en el que investigadores del área de la ingeniería pueden divulgar el conocimiento especializado, producto de su actividad científico-técnica.

*Journal of Research in Engineering Sciences*, plantea a la ingeniería no solo como el área de uso de conocimientos establecidos para el diseño, construcción, operación y modificación de instalaciones, plantas productivas, así como procesos y procedimientos en cadenas productivas, sino que intenta dar una visión más amplia de este concepto. Dado lo anterior, esta revista evidencia su énfasis en los estudios que conllevan a la sustentabilidad ambiental y al desarrollo regional con enfoque territorial, como bases esenciales para un desarrollo social integral. Para la publicación y los investigadores que la escogen para divulgar sus logros, la ingeniería es una base fundamental a nivel científico que puede contribuir decisivamente y estar íntimamente ligada al proceso de innovación tecnológica y generación de nuevos conocimientos. Es entonces cuando el diseño se conforma como la piedra angular de la ingeniería y los ingenieros son quienes comparten la visión que el progreso se alcanza fundamentalmente, al proponer problemas y seguir el proceso de diseño para construir sistemas que conlleva a su solución.

En su primer número, la publicación *Journal of Research in Engineering Sciences*, muestra un abordaje disímil de los estudios ingenieriles en el campo de la ciencia. Inicialmente, muestra la relación de los principios de la arquitectura verde y su aplicación en el Distrito Capital, mediante el artículo “Plantas nativas para jardinería urbana, una alternativa para incrementar la biodiversidad en el Distrito Capital”.

En relación al artículo anterior y muy cercano a la arquitectura verde se encuentra el fenómeno del paisajismo y los grandes problemas que se presentan en el manejo nutricional del arbolado público; dado esto se seleccionó para ser publicada en esta edición la “Propuesta para el manejo nutricional en Palma de cera (*Ceroxylon quindiuense* Wendl.), bajo condición de crecimiento en malla vial de alto flujo vehicular”, la que además de solucionar el problema

nutricional de este tipo de vegetación, lo hace de forma amigable con el medio ambiente. En este mismo sentido, de protección del medio ambiente, se unen investigaciones relacionadas a la seguridad alimentaria, no solo para los humanos, sino también para los animales. Tomando como referente lo anterior, se brindan a la comunidad científica las experiencias, a través de los artículos “Crecimiento y producción del cultivo de la arveja (*Pisum sativum* L.) en dos UICAU y con la aplicación de tres dosis del biofertilizante Caldo Super-4”, “Aplicación de tres fertilizantes orgánicos en *Beta vulgaris* (remolacha) bajo el contexto de agricultura urbana en la ciudad de Bogotá”, “Potencialidades productivas presentes en la vereda Santa Bárbara, municipio de Gachalá, Cundinamarca”, “Agricultura tecnificada, limpia y competitiva” y “Optimización del momento de cosecha de las semillas de (*Brachiaria híbrido* vc. CIAT BRO<sub>2</sub>/1752) Yacaré en condiciones de campo”.

Por otro lado, esta revista pretende visibilizar otras investigaciones científicas que, desde el perfil del ingeniero, sirven para el perfeccionamiento de industrias claves a nivel nacional e internacional. Es por ello que artículos como “Modelo electromagnético para la velocidad volumétrica local de absorción de fotones en la fotocatalisis heterogénea” y “Enzimas aplicadas para el desarrollo tecnológico en la industrial textil” forman parte del selecto grupo de manuscritos que hoy publicamos. Es de resaltar que, el conocimiento científico, si no es divulgado, se convierte entonces en conocimiento muerto y por ende en tiempo perdido. El conocimiento no se monopoliza, el conocimiento se crea para el beneficio colectivo de las sociedades que lo necesiten.

**M. Sc. Deivis Suárez Rivero, M. Sc. Adriana Mejía Terán.**

# Plantas nativas para jardinería urbana, una alternativa para incrementar la biodiversidad en el Distrito Capital

Native plants for urban garden, an alternative to  
increase biodiversity in the Capital District

**Bonilla, Yenith<sup>1</sup>; Velasco, Patricia<sup>1</sup>; Fajardo, Francisco<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Jardín Botánico de Bogotá “José Celestino Mutis”

Subdirección Técnica Operativa

Fecha de recepción: noviembre de 2015 / Fecha de aceptación: marzo de 2016

## Resumen

Los espacios verdes de los jardines permiten la creación de un paisaje urbano, mitigando los impactos negativos de las construcciones en la ciudad; generar conectividad funcional, atenuar las islas de calor y además, pueden ser una estrategia de conservación de fauna y flora nativas. Algunas de las especies exóticas empleadas en jardinería poseen una fuerte capacidad de colonización, han desplazado a especies nativas, causando problemas de invasión considerables en hábitats naturales. Esta condición hace prioritaria la búsqueda de plantas nativas para jardinería urbana, acordes con las necesidades ambientales de Bogotá.

El objetivo del estudio fue establecer criterios para la selección de especies nativas para la jardinería urbana y definir un grupo de plantas nativas con este potencial. Para esto se realizó una clasificación preliminar de las especies presentes en uno de ecosistemas de la ciudad, teniendo en cuenta los siguientes rasgos de historia de vida (RHV). Forma de vida y de crecimiento, altura, tipo de propagación, características de la forma, tamaño y número de las flores o inflorescencia, textura, forma y tamaño del follaje. Los datos permitieron obtener un listado preliminar de especies de flora nativa con potencial para ser planta soporte, relleno o decorativa, dentro de un diseño de jardín ecológico. Esta información es base para la realización de estudios de propagación y germinación, con miras a remplazar las especies exóticas empleadas en jardines y parques bogotanos.

**Palabras Clave:** jardines, plantas nativas, criterios de selección y jardinería urbana.

## Abstract

The green spaces of the gardens allow the creation of an urban landscape, mitigating the negative impacts of buildings in the city, generating the functional connectivity, reduce heat islands and can be a strategy to conserve native fauna and flora. Some of the exotic species used in landscaping have a strong capacity for colonization, have displaced native species, causing significant encroachment problems in natural habitats. This condition makes it a priority to find native plants for urban gardening, in line with the environmental needs of Bogotá. The objectives of the study was to establish criteria for selecting the native species for urban gardening and to define a group of native plants with this potential. A preliminary classification of the species in the ecosystems of the City was made, taking into account the following features of life history (RHV) way of life and growth, height, type of propagation characteristics of the form, size and number of flowers and / or inflorescence size and fruit color, texture, shape and size of foliage. The data enabled a preliminary list of native plant species with potential for ground support or padding inside a decorative design ecological garden. This information is the basis for studies of propagation and germination, in order to replace the exotic species used in gardens and parks of Bogotá.

**Keywords:** garden, native plants, selection criteria and urban gardening.

## Introducción

Las ciudades están conformadas por la reunión de un sinnúmero de factores bióticos y abióticos que interactúan entre sí, y en ellas predomina una alta densidad de población humana al igual que una gran cantidad de construcciones. Los sistemas urbanos son causantes de la transformación ecosistémica más reciente sobre el planeta Tierra; albergan el umbral del 50% de la población humana global; algunas de las ciudades de Suramérica superan el 80% del país (Secretaría Distrital de Ambiente y Conservación Internacional, 2010).

El proceso acelerado de urbanización y los proyectos de infraestructura urbana, pretenden satisfacer las necesidades de vivienda y servicios de los habitantes. Se busca alcanzar el desarrollo medido en términos de avances tecnológicos, pero a su vez causa el deterioro al ecosistema y la disminución de la calidad de vida de las distintas poblaciones que allí habitan (Moreno, 1999). En las ciudades hay una completa transformación del ambiente local, a través de su impacto sobre la vegetación, el clima, la hidrología y la producción primaria. Afectan a las especies nativas, a las que a veces privan completamente de su hábitat natural.

Además, las ciudades tienen un microclima propio, donde por lo general la temperatura es más elevada, en promedio entre 1,5°C y 5°C que el territorio circundante, lo cual es consecuencia del calor que retienen los edificios y el pavimento durante las horas insolación (Giménez S. F).

Bogotá presenta una extensión de 163.660,9 hectáreas, donde el 23.41% es de área urbana y el 76,59% de área rural. Cuenta con una diversidad de ecosistemas, donde habitan más de 600 especies de flora y potencialmente más de 200 especies de fauna (Secretaría Distrital de Ambiente y Conservación Internacional, 2010). En la ciudad, los espacios verdes como los jardines urbanos, han recobrado importancia en los últimos años. Se ha permitido la creación de un paisaje urbano reverdecido, atenuando los impactos negativos que afectan la salud humana por las construcciones en la ciudad y adicionalmente pueden ser utilizados como una estrategia de conservación de las especies de fauna y flora nativas.

En estos espacios de jardines y coberturas verdes urbanas es frecuente el uso de especies exóticas con fuerte capacidad de colonización, que desplazan a especies nativas, generando grandes problemas de invasión (Moreno, 1999). Las invasiones biológicas son consideradas como el segundo motivo de extinción de especies en el mundo. Dentro de sus impactos se incluyen desequilibrios ecológicos entre las poblaciones nativas, cambios en la composición de las especies y en la estructura trófica, desplazamiento de las especies nativas y se genera pérdida de biodiversidad (Gutiérrez, 2006).

La biodiversidad es un elemento prioritario en las estrategias de sostenibilidad urbana del ordenamiento territorial, el control de riesgos, mantenimiento de servicios ambientales, salud pública, limpieza y ornato público, mejoramiento social y calidad de vida. Diversos componentes

de la biodiversidad son elementos importantes para el enfoque integral de salud como vectores y reservorios, parásitos, alérgenos, agentes patógenos, organismos venenosos y ponzoñosos, plantas medicinales, alimentación sana, protección de la salud ambiental y ambientes sanos.

Las áreas verdes juegan un papel vital en la biodiversidad urbana. Estas son los principales hábitats de las plantas urbanas y animales; las instalaciones antiguas bien establecidas atraen, por ejemplo, pájaros y mamíferos. Los viejos parques y jardines, edificios, construcciones abandonadas e iglesias con frecuencia contienen una biodiversidad notablemente rica (Nilsson, et al., 1997). Tomando en cuenta la riqueza de especies dentro de los ecosistemas presentes en el Distrito Capital, es importante contar con un listado de especies potenciales que puedan incrementar la diversidad de plantas nativas.

## Materiales y métodos

Se realizó una revisión detallada del catálogo de la flora vascular de la cuenca alta del río Subachoque en Cundinamarca, Colombia (Fernández, A. 2007). Del listado de plantas de la flora, se realizó una primera selección de 110 plantas, teniendo en cuenta su origen nativo y la forma de vida de rosetas, hierbas, caulirrósculas, macollas o arbustos de porte bajo. A partir de este listado, se aplicó la evaluación de categorías para obtener un grupo de especies, una acertada selección con potencial para uso ornamental.

## Categorías de evaluación y escala de ponderación

Se evaluó para cada especie, los rasgos de las especies relacionados con la forma de vida, altura, tamaño de la flor o inflorescencia (Longitudinal o transversal, color de la flor y del fruto, abundancia de flores, número de flores simples o inflorescencias por planta); periodo de floración (Duración que permanece floreciendo la planta al año) y textura del follaje. La escala de valoración para cada una de las variables contenidas en las categorías de la matriz, se encuentra entre los rangos del 1 hasta el 3, siendo 1 la menor y 3 la mayor calificación dada (Tabla 1). Para el análisis preliminar y el listado de especies fue la de mayor valor.

Estas fueron las candidatas para ser elegidas dentro de los arreglos en jardines sostenibles.

Las características de selección fueron:

- » **Formas de vida:** El modo de clasificación de las formas de vida más usado se fundamenta en las características de las partes aéreas de las plantas y en la duración de vida de las mismas (Alcaraz, 2013). Se evaluaron las especies que por sus características de crecimiento tienen formas de rosetas, hierbas, macollas y subarbustos.
- » **Altura de la planta:** Corresponde a la longitud de la planta medida desde la base hasta la yema de crecimiento más alta. Se seleccionaron las especies menores de 50 cm, sin descartar

el potencial de las plantas mayores a 100 cm.

- » **Rango altitudinal:** Dado que Bogotá está ubicada a 2.600 m sobre el nivel de mar, se tendrán en cuenta principalmente las especies que se encuentren entre los 2.500 y los 3.000 m.
- » **Multiplicación de las plantas:** Es la forma como se propagan las plantas, puede llevarse a cabo por semilla, estaca o esqueje.
- » **Tamaño de flor o inflorescencias:** Las especies que tengan un mayor tamaño de flor serán las más opcionadas en el momento de selección.
- » **Color de la flor:** El mayor puntaje en esta categoría lo tendrán las flores que se encuentren en la escala de colores cálidos.
- » **Color del fruto:** El mayor puntaje en esta categoría lo tendrán las flores que

se encuentren en la escala de colores cálidos.

- » **Abundancia de flores:** El mayor puntaje en esta categoría lo tendrán las plantas que tengan el mayor número de flores simples o inflorescencias por planta.
- » **Periodo de floración:** El mayor puntaje en esta categoría lo tendrán las plantas que tengan el mayor periodo de floración al año.
- » **Textura del follaje:** El mayor puntaje en esta categoría lo tendrán las plantas que tengan hojas finas menores a 2 cm.
- » **Valor agregado:** Valor de uso adicional que puede tener las plantas que serán evaluadas en la matriz. Dentro de estos valores adicionales se tendrán en cuenta los siguientes valores: valor medicinal, alimento humano o estético.

**Tabla 1.** Valoración de los rasgos de las especies para la jardinería

Categoría	Variable	Escala de Valoración
	Rosetas	3
	Hierbas	3
	Caulirósulas	2
Forma de vida (tipo de crecimiento de la planta)	Macolla	3
	Trepadoras	2
	Subarbusto	3
	Arbusto	2
	Rasante	3

Continuación Tabla 1. Valoración de los rasgos de las especies para la jardinería

Categoría	Variable	Escala de Valoración
Altura (altura de la planta) (cm)	Entre 15 y 50	3
	Entre 51 y 100	2
	mayor de 100	1
Rango altitudinal (m)	mayor a los 3.000	2
	2.500-3.000	3
	2.000-2.499	2
Tamaño de la flor o inflorescencia (cm)	Mayor de 3	3
	Entre 1 y 3	2
	Menores de 1	1
Color de la flor	Cálidos (rojos, amarillos, naranjas)	3
	Fríos (azul, morado)	2
	Neutro (blancos, colores pasteles)	1
Color del fruto	Cálidos (rojos, amarillos, naranjas)	3
	Fríos (azul, morado)	2
	Neutro (blancos, colores pasteles)	1
Abundancia de flores (número de flores simples o inflorescencias por planta)	Mayor de 10	3
	De 5 a 10	2
	Menores de 5	1
Periodo de floración (tiempo que permanece floreciendo la planta al año)	Mayor de 3 meses	3
	1-3 meses	2
	menores de 1 mes	1
Textura del follaje (hojas simples o compuestas cuyo tamaño es variable, vertical y horizontal. Se considera el de menor tamaño)	Fina (menor de 2 cm)	3
	Mediana (de 2-8 cm)	2
	Gruesa (mayor de 8 cm)	1

## Clasificación de las especies

Estas serán reclasificadas teniendo en cuenta los criterios para realizar el diseño de un jardín sostenible, con el fin de que estos arreglos sean biodiversos (Ibarra, 1997):

» **Plantas clave:** Son las que atraerán el protagonismo en el jardín. Los árboles

serán generalmente plantas clave en los jardines pequeños. También pueden ser plantas clave los arbustos y otras plantas más pequeñas que se quieran destacar especialmente.

» **Plantas de soporte:** Ofrecen una estructura permanente al diseño. Es el caso de setos, arbustos, pequeños árboles perennes, plantas trepadoras o áreas de césped.

- » **Plantas de relleno:** Son aquellas que deben cubrir los espacios vacíos o zonas de relleno. Las plantas rastreras o de porte bajo, serán las mejores para esta función.
- » **Plantas decorativas:** Estas plantas servirán de detalle atractivo dentro del conjunto, aportando cambio y variedad al jardín en las distintas estaciones. Como plantas decorativas se pueden incluir plantas vivaces, bulbosas, bianuales, anuales, hierbas y pequeños arbustos, tanto de hoja perenne como caduca.

## Resultados preliminares

Se encontró información para 28 especies, las cuales fueron clasificadas en claves

(7), decorativas (5), de relleno (13) y de soporte (3). Dentro de las especies clave de mayor valor se registraron *Berberis goudotii*, *Gaultheria anastomosans* y *Pentacalia nítida*; para las especies decorativas, *Lobelia tenera*, *Bartsia santolinifolia* y *Senecio niveoaurus* fueron las de mejor calificación. Como especies de relleno *Disterigma empetrifolium*, *Pernettya prostraa*, *Castilleja fissifolia* y como especies de soporte *Vaccinium floribunduma* y *Cortaderia columbiana* (Tabla 2). No obstante, la obtención de este listado preliminar de especies con potencial, siguen siendo ajustados basados en los criterios de evaluación de los rasgos y explorando la interpretación de los resultados.

**Tabla 2.** Clasificación de las especies nativas con información validada para potencial en la jardinería nativa en el Distrito Capital

Clasificación de las especies	Especie	Forma de crecimiento	Distribución altitudinal	Sumatoria de Valoración
Clave	<i>Berberis goudotii</i> Triana & Planch. ex Wedd.	Arbusto	3.400-3.500	19
	<i>Gaultheria anastomosans</i> (L.f.) Kunth	Arbusto	2.700-3.500	19
	<i>Pentacalia nitida</i> (Kunth) Cuatrec.	Arbusto	3.300-3.700	18
	<i>Diplostephium phylloides</i> (Kunth) Wedd.	Arbusto	3.300-3.700	17
	<i>Ageratina glyptophlebia</i> (B.L. Rob.) R.M. King & H. Rob.	Arbusto	3.000- 3.300	15
	<i>Baccharis prunifolia</i> Kunth.	Arbusto	2.700-3.000	6
	<i>Brachyotum strigosum</i> (L.f.) Triana.	Subarbusto	3.200-3.700	17
	<i>Lobelia tenera</i> Kunth.	Hierba	3.200-3.700	21
	<i>Bartsia santolinifolia</i> (Kunth) Benth.	Subarbusto	3.300-3.700	21
Decorativa	<i>Senecio niveoaurus</i> Cuatrec.	Hierba	2.600-3.300	20
	<i>Monnina salicifolia</i> (Ruiz & Pav).	Arbusto	2.600-3.400	19
	<i>Espeletia grandiflora</i> Bonpl.	Arbolito	3.200-3.700	18
	<i>Disterigma empetrifolium</i> (Kunth) Drude.	Subarbusto	3.300-3.500	21

Clasificación de las especies	Especie	Forma de crecimiento	Distribución altitudinal	Sumatoria de Valoración
Relleno	<i>Pernettya prostrata</i> (Cav.) DC.	Arbusto	2.900-3.700	21
	<i>Castilleja fissifolia</i> L.f.	Arbusto	2.600-3.300	21
	<i>Galium corymbosum</i> ( Ruiz & Pav.)	Hierba	2.600-3.300	20
	<i>Hypericum prostratum</i> Cuatrec	Subarbusto	3.300	19
	<i>Carex pichinchensis</i> H.B.K.	Hierba	3.600	19
	<i>Niphogeton ternata</i> (Willd. ex Schldtl.) (Mathias & Constance)	Subarbusto	2.800-3.000	18
	<i>Hypericum mexicanum</i> L.f.	Subarbusto	2.900-3.300	18
	<i>Castratella piloselloides</i> (Bonpl.) Naudin	Hierba	3.300-3.600	18
	<i>Valeriana pilosa</i> (Ruiz & Pav.)	Hierba	3.300-3.700	18
	<i>Veronica serpyllifolia</i> L. var. <i>serpyllifolia</i>	Hierba	2.600-3.400	17
	<i>Oxalis medicaginea</i> Kunth	Hierba	2.900-3.400	2
	<i>Acaena cylindrostachya</i> (Ruiz & Pav.)	Hierba	3.400-3.500	15
	<i>Vaccinium floribundum</i> Kunth	Arbusto	2.900-3.700	20
Decorativa	<i>Cortaderia columbiana</i> (Pilg.)	Hierba	3.200-3.700	17
	<i>Arcytophyllum nitidum</i> (Kunth) Schldtl.	Subarbusto	2.900-3.700	15

## Referencias

- Alcaraz, F. (2013). *Geobotánica Tema 8. Formas Vitales, estratificación y fenología*. Universidad de Murcia: España
- Bolaños, T., Moscoso, A. (2011). *Consideraciones y selección de especies vegetales para su implementación en ecoenvolventes arquitectónicos: una herramienta metodológica*. Facultad de Ciencias Ambientales. Universidad Piloto de Colombia.
- Ibarra, W. (1997). *Enverdecimiento urbano en Chile*. Áreas Verdes Urbanas en Latinoamérica y el Caribe.
- Fernández, A. (2007). *Catálogo de la flora vascular de la cuenca alta del río Subachoque*. Instituto de Ciencias Naturales. Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Pedraza, P., Bentancur J., Franco, P. (2004). *Chisacá, un recorrido por los páramos andinos*. Bogotá, Colombia: Instituto de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia – Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt. 280, 298, 307, 276, 308, 293 p.
- Moreno, C. (1999). *Climatología urbana*. Ediciones Universidad de Barcelona: Barcelona.
- Nilsson, K., Randrup, T., y Tvedt, T. (1997). *Aspectos Tecnológicos del*

*Enverdecimiento Urbano. Áreas Verdes Urbanas en Latinoamérica y el Caribe.* México: Banco Interamericano de Desarrollo. 39-81p. Recuperado de <http://www.sustainableforestbusiness.org/spanish/tools/09/files/docs/003.pdf>

Secretaría Distrital de Ambiente -SDA- y Conservación Internacional. (2010). *Política para la Gestión de la Conservación de la Biodiversidad en el Distrito Capital de 2010.* Panamericana, Formas e Impresos: Colombia.

# Crecimiento y producción del cultivo de la arveja (*Pisum sativum* L.) en dos UICAU y con la aplicación de tres dosis del biofertilizante Caldo Super - 4

Crop production growth and the pea (*Pisum sativum* L.) in two UICAU and application of three doses of Super Soup biofertilizer - 4

Agudelo, Luz Dary<sup>1</sup>; Sanabria, María Fernanda<sup>1</sup>; Suárez Rivero, Deivis<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Jardín Botánico de Bogotá “José Celestino Mutis”

<sup>2</sup>Fundación Universitaria Agraria de Colombia -Uniagraria

Fecha de recepción: octubre de 2015 / Fecha de aceptación: febrero 2016

## Resumen

El cultivo de leguminosas constituye un importante elemento en el desarrollo de la agricultura urbana en Bogotá, pues la arveja en particular, representa un importante suplemento nutricional en la dieta diaria. La presente investigación estudió el comportamiento presentado desde el punto de vista fenológico y productivo el cultivo de la arveja (*Pisum sativum* L.) con la aplicación de fertilizantes orgánicos bajo condiciones de agricultura urbana en Bogotá. El montaje experimental se estableció en dos territorios ambientales en las UICAU (Unidades Integrales Comunitarias de Agricultura Urbana). Territorio Cuenca Río Salitre, “Aldeas Infantiles SOS” y el Territorio Cuenca Río Tunjuelo “Centro Crecer”. Las variables evaluadas fueron la longitud del tallo (cm), el grosor base del tallo (cm) y el número de hojas verdaderas y productividad. Los mejores resultados se manifestaron en el Caldo Super- 4 para la dilución 1/10 v.v. en “Aldeas Infantiles SOS” con la longitud del tallo, mientras que a la dilución 1/30 v.v. y en la UICAU “Centro Crecer” dio mejores resultados en cuanto a número de hojas y productividad.

**Palabras Clave:** agricultura urbana, fenología y productividad.

## Abstract

Cultivation of legumes is an important element in the development of urban agriculture in Bogotá, including peas as an important nutritional supplement in the diet. This research studied the behavior presented from the viewpoint of productive crop growth stage and the Pea (*Pisum sativum* L.) with the application of organic fertilizers under conditions of urban agriculture in Bogotá DC The experimental setup was established in two environmental areas in the UICAU (Community Integrated Units of Urban Agriculture). Salitre River Basin the Territory, “SOS” and the Territory Tunjuelo River Watershed “Sceptre Grow”. The variables were evaluated: stem length (cm), thickness of the stem (cm), number of true leaves and productivity. The best results were seen in super-4 broth for dilution 1 / 10 vv in villages with their length, while the dilution 1 / 30 vv and the UICAU “Growth Center” gave better results in terms of number of leaves and productivity.

**Keywords:** urban agriculture, phenology and productivity.

## Introducción

El programa de Agricultura Urbana que desarrolla el Jardín Botánico de Bogotá, según (Duque, 2008) se convierte en el instrumento propicio para coadyuvar a la política de seguridad alimentaria y contribuir al fortalecimiento de formas organizativas de las comunidades, que permiten la construcción de tejido social y la consolidación de una cultura ambiental asociada a procesos integrales de intervención y apropiación del territorio.

Las Buenas Prácticas Agrícolas (BPA), según (Iglesias, 2002) son una serie de requisitos destinados a asegurar la calidad sanitaria de los alimentos frescos en una parte de la cadena alimentaria e involucran, además, factores como el cuidado del medio ambiente, el bienestar y la salud de los trabajadores y la trazabilidad, entre otros.

Añade el mismo autor que la aplicación de las Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) en las operaciones que van desde la selección del material que se va a sembrar, hasta que las hortalizas salen de la unidad productiva son fundamentales para prevenir la contaminación de los alimentos.

¿Cuáles comportamiento presentarán desde el punto de vista fenológico y productivo el cultivo de la arveja (*Pisum sativum* L.) con la aplicación de fertilizantes orgánicos bajo condiciones de agricultura urbana en Bogotá?

## Materiales y métodos

### Ubicación del experimento

El montaje experimental se estableció en dos territorios ambientales en las UICAU (Unidades Integrales Comunitarias de Agricultura Urbana). Territorio Cuenca Río Salitre, “Aldeas Infantiles SOS” y el Territorio Cuenca Río Tunjuelo “Centro Crecer”.

Para la realización y validación de los protocolos de fertilización orgánica en sistemas de producción de agricultura urbana en las especies priorizadas, en el año 2009 y de acuerdo con las condiciones específicas de las UICAU implementadas en los territorios ambientales del Distrito Capital con la comunidad vinculada al proyecto, se realizaron seguimientos y evaluaciones, por lo cual se hizo necesario llevar un registro del comportamiento de cada una de estas especies, durante todo su ciclo vegetativo y reproductivo hasta la cosecha.

### Variables a evaluar

- » Longitud del tallo (cm).
- » Grosor base del tallo (cm).
- » Número de hojas verdaderas (udds).
- » Productividad por planta y tratamiento (gr/planta y gr/tratamiento).

En cuanto a la estandarización de las dosis de los fertilizantes, esta se basó en los resultados obtenidos en la primera fase de la investigación, durante el año 2009 (fertilización orgánica en brócoli, coliflor, espinaca y arveja), teniendo como control la fertilización tradicional.

## Material utilizado

Para el montaje de esta investigación se requiere una serie de insumos que se relacionan a continuación en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Lista de insumos requeridos para el montaje en campo

Insumo	Cantidad
Semillas de arveja	1 lb
Compost	230 bultos
Cascarilla	114 bultos
Botellas	520
Humus	30 bultos
Caldo Super- 4	50 lt

Se empleó un tipo de sustratos:

- » Compost/cascarilla en relación 2:1 (v/v)

## Diseño en campo

Se aplica un diseño de bloques completamente aleatorizados, con una distribución factorial (3x2) donde 3

son las dosis de fertilizantes utilizados (1/10, 1/20, 1/30) y 2 son las UICAU. Los territorios y las UICAU se pueden observar en la Tabla 1 y en la Tabla 2, y el resumen gráfico del diseño experimental, en la Figura 1.

**Tabla 2.** Cronograma del montaje en campo

Territorio	UICAU
Cuenca Río Salitre	Aldeas SOS
Cuenca Río Tunjuelo	Centro Día Crecer

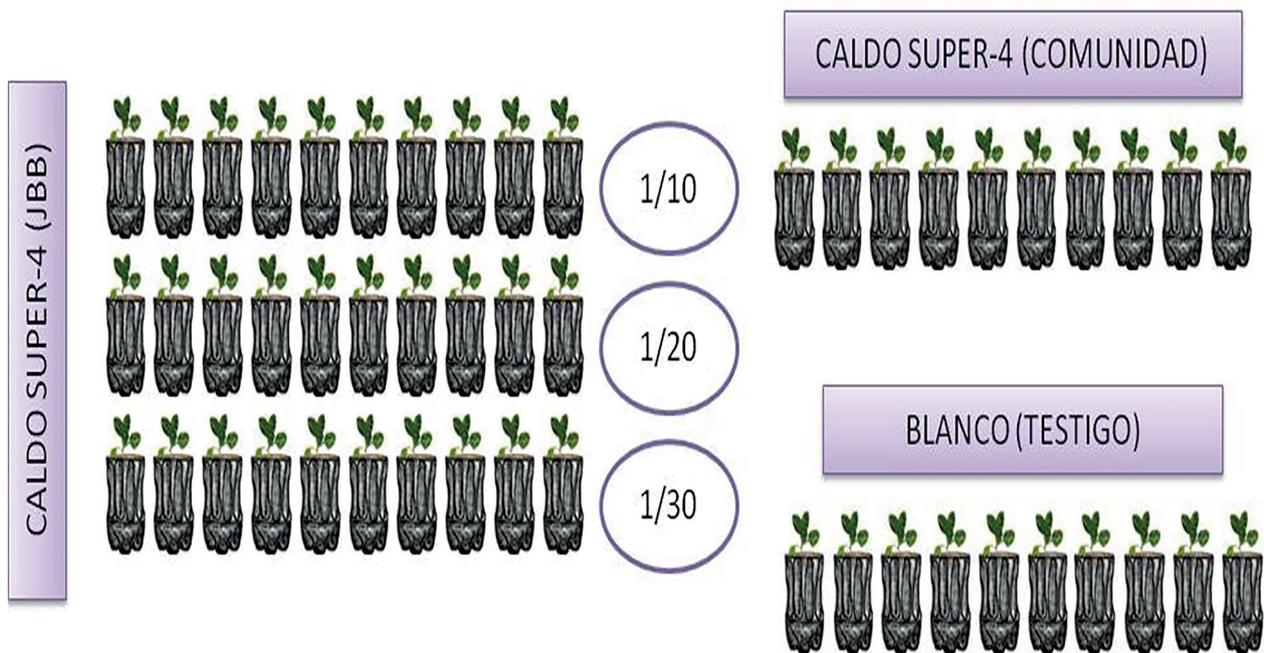


Figura 1. Diseño experimental en campo

## Resultados y discusión

Para el seguimiento del desarrollo del cultivo se marcaron plantas en las que se midieron, desde la germinación, todas las variables reportadas en el diseño experimental.

### Estudio comparativo entre el crecimiento del tallo y número de hojas para la arveja en las UICAU “Aldeas SOS” y “Centro Crecer”.

La Figura 2 y la Figura 3 muestran una dinámica de crecimiento del tallo y número de hojas por cada tratamiento, variables que, aunque no corresponden con el

producto final de la planta (producción de semillas), sí son una medida indirecta de la formación de frutos y por ende, semillas. Para la Figura 2, bajo las condiciones microclimáticas que se presentan en la UICAU “Aldeas SOS”, los mejores resultados para la longitud del tallo y número de hojas los arrojó el tratamiento Caldo Súper- 4 a una dilución 1/10 v.v. Aunque cabe resaltar que para la segunda variable (número de hojas) en el segundo momento se observó, en el tratamiento Caldo Súper- 4 a dilución 1/30 v.v. un pico de formación de hojas para ambas UICAU, solo que este no fue estable en el tiempo. La Figura 3, a diferencia de la Figura 2, muestra los resultados de las mismas variables (longitud del tallo y número de hojas) solo que, en un microclima diferente, en este caso en la UICAU “Centro Crecer”.

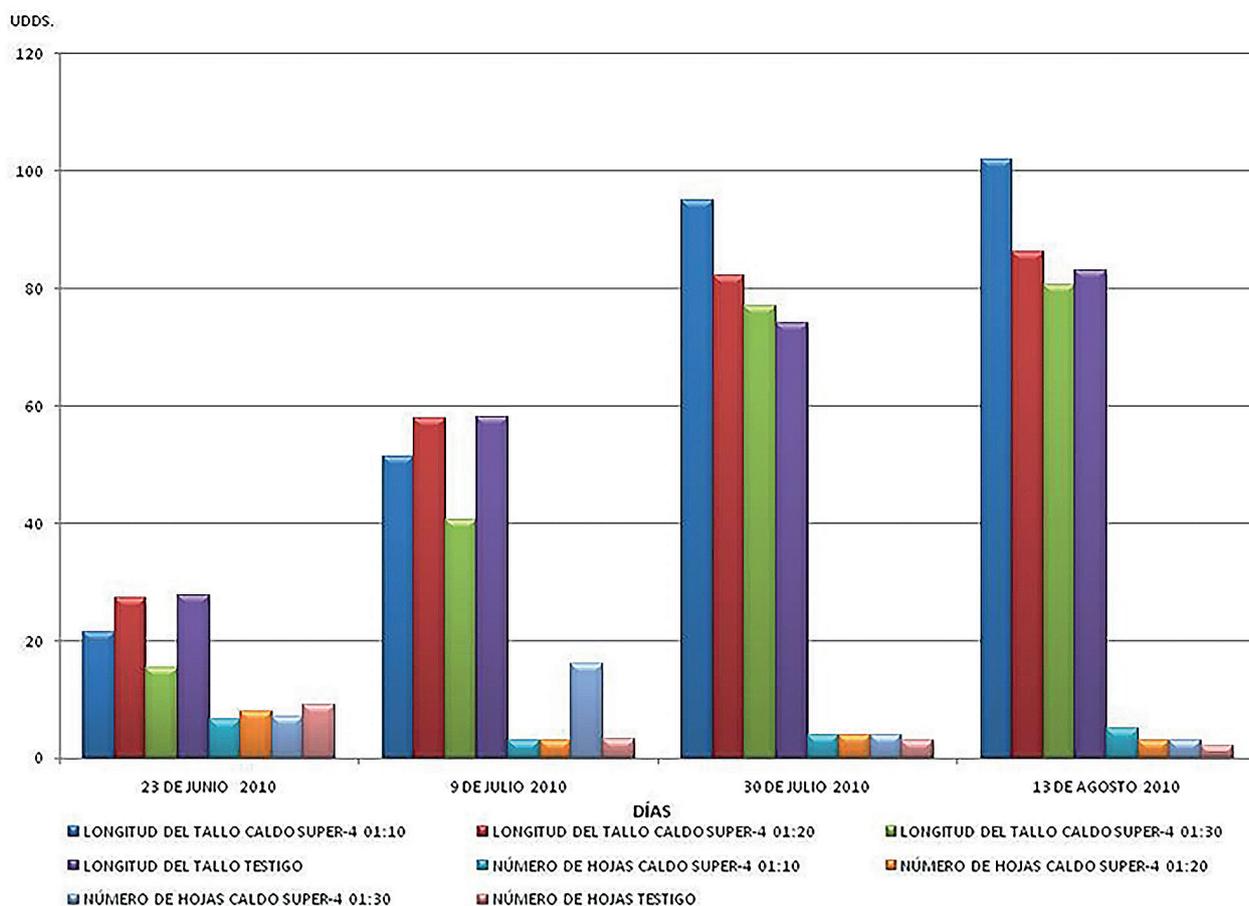


Figura 2. Longitud del tallo (cm) y número de hojas (unidades) en plantas de arveja cultivadas en la UICAU “Aldeas SOS”.

Al observar la figura se aprecia que las plantas que tuvieron un crecimiento promedio mayor resultaron ser las tratadas con Caldo Súper- 4 a una dilución 1/20 v.v., no reportándose el mismo comportamiento para la emisión de hojas, pues para esta variable los mejores resultados se obtuvieron en las plantas tratadas con Caldo Súper- 4 a dilución 1/30 v.v.

Los resultados que se analizaron anteriormente pueden verse influenciados por los efectos del cambio climático,

destacando las irregulares precipitaciones y cambios de temperatura ambiente. En cuanto a este último aspecto, es necesario tener en cuenta que según la escala BBCH (Bundesanstalt Bundessortenamt Chemical); (Meier, 2001), el desarrollo fenológico de la planta de arveja se puede describir con los siguientes estadios: germinación, desarrollo de hojas, crecimiento longitudinal de entrenudos, aparición del órgano floral, floración, formación y maduración de vainas o senescencia.

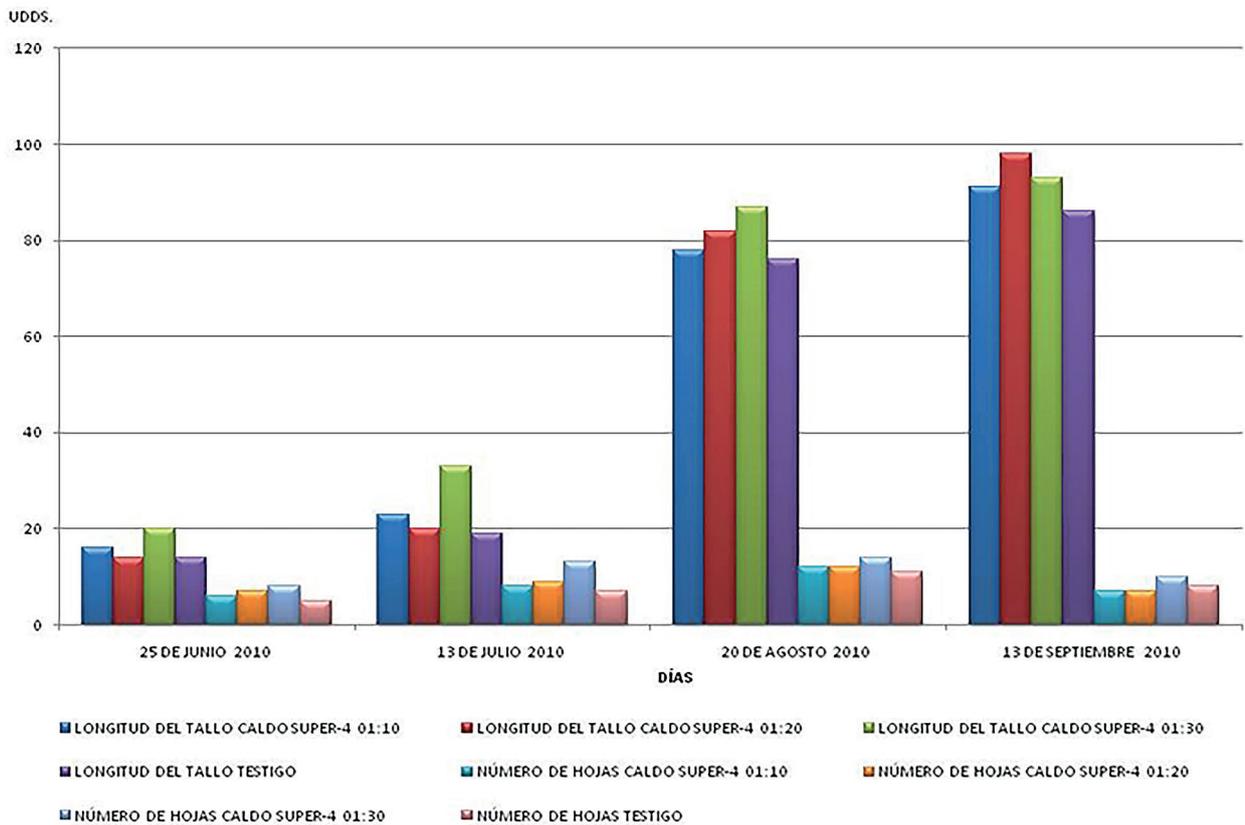


Figura 3. Longitud del tallo (cm) y número de hojas (unidades) en plantas de arveja cultivadas en la UICAU “Centro Crecer”.

Según el autor, se acepta comúnmente que la duración de cada uno de estos estadios dependa en primer lugar de las condiciones de temperatura. Cuando la temperatura es óptima para el desarrollo vegetal, el organismo cumple su ciclo de vida en un mínimo de tiempo. Si la temperatura está por encima o por debajo del óptimo, el desarrollo se hace más lento y puede detenerse, ya sea porque la temperatura es muy baja (igual o inferior a la temperatura base) o porque es muy alta (igual o superior al punto de tolerancia). Se maneja entonces el concepto de grados día

(°C d) para calcular la edad fisiológica de los cultivos, acumulando desde la siembra, la diferencia entre la temperatura promedio de cada día y la temperatura base, siempre que el promedio no exceda el máximo de tolerancia. Esta aproximación permite una mejor predicción de los cambios de estado en el desarrollo vegetal en ambientes con temperatura variable (Miller et al., 2001; Stöckle et al., 2003).

Estudio comparativo de la productividad del cultivo de la arveja en las UICAU “Aldeas SOS” (Figura. 4) y “Centro Crecer” (Figura 5).

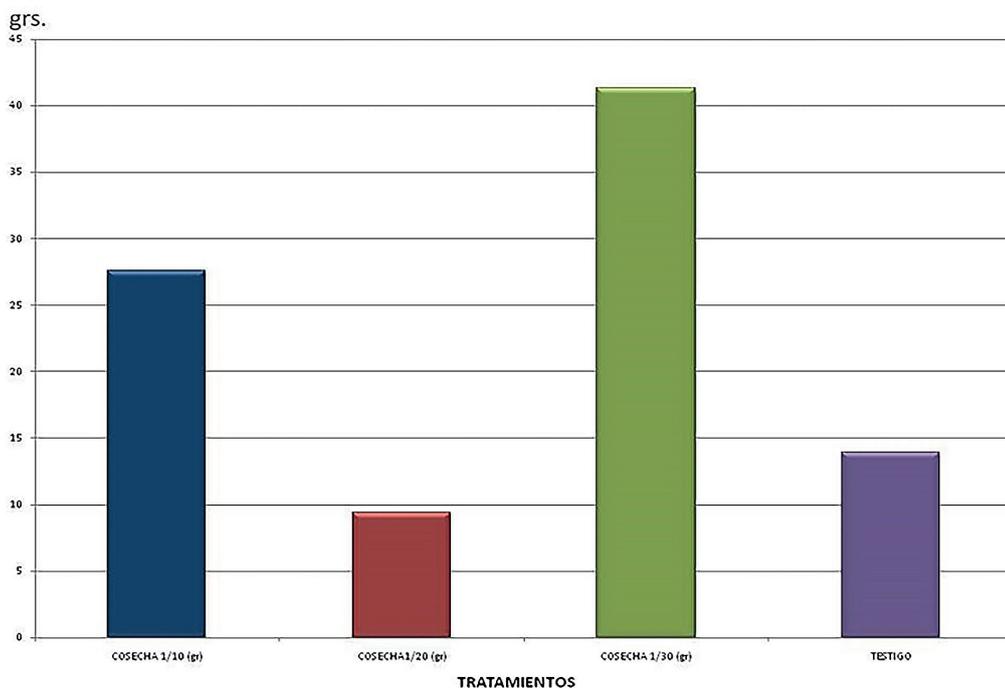


Figura 4. Producción en plantas de arveja cultivadas en la UICAU "Aldeas SOS".

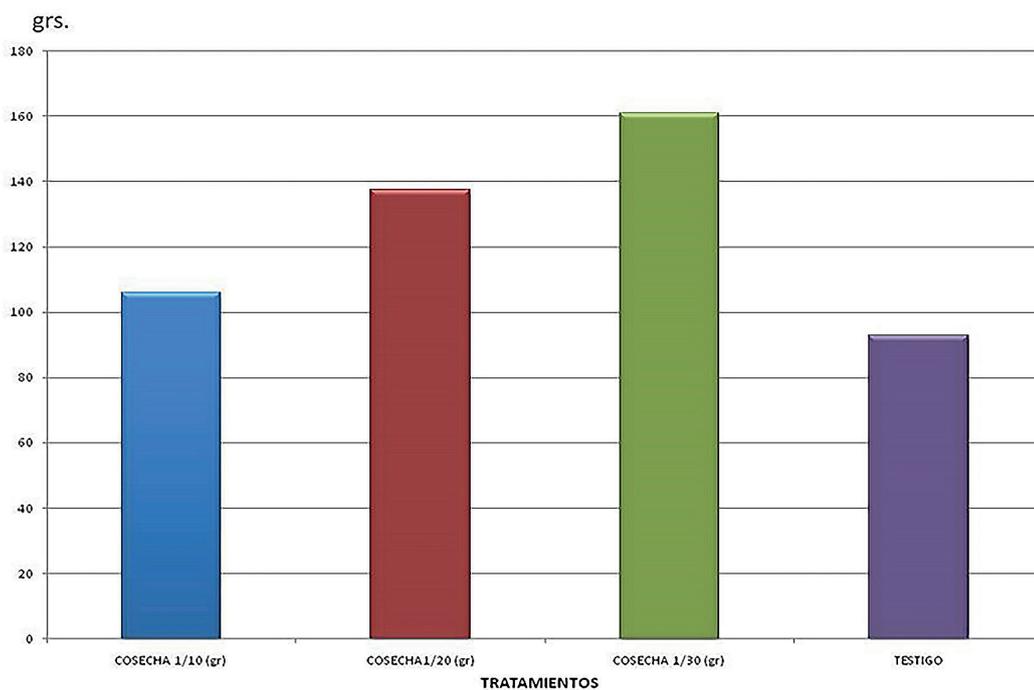


Figura 5. Producción en plantas de arveja cultivadas en la UICAU "Centro Crecer".

En la Figura 4 y la Figura 5 se puede apreciar que los mejores resultados en cuanto a productividad, se presentaron en las plantas tratadas con el Caldo Super-4 a una dilución 1/30 v.v., manteniendo la misma conducta para las dos UICAU objeto de estudio. Al realizar el análisis estadístico de dichos datos con el empleo del Statgraphics 5.1 plus, se pudo observar que por separado, las UICAU en cuestión presentaron producciones homogéneas, siendo los mejores resultados obtenidos para la UICAU, aldeas clasificados a su vez, mediante un test de rangos múltiples y altamente significativos con un nivel de significancia del 0,05 y una confianza del 95%.

Al comparar los resultados antes expresados con los analizados en la Figura 2 y la Figura 3 (Longitud del tallo y número de hojas), podemos decir que, aunque no fueron las plantas que más crecieron, sí invirtieron gran parte de las reservas elaboradas en el proceso de fotosíntesis a la formación de frutos (vainas) y semillas. Cabe resaltar que este es un cultivo que se puede ver afectado por los niveles de humedad del sustrato y los rangos de pH del mismo. Al respecto, (Hernández, 1998) plantea que esta planta requiere de suelos bien drenados, pH comprendido entre 5,5 y 6,7, pues trazas superiores o inferiores influyen negativamente en el buen desarrollo del cultivo.

## Conclusiones

Los sustratos empleados satisfacen los requerimientos de los cultivos en cuanto

a composición nutricional, aunque su pH ligeramente alcalino influye decisivamente en la absorción de los nutrientes.

Los valores de producción más elevados se obtuvieron en la UICAU “Aldeas SOS”, no presentándose diferencias significativas en ninguno de los tratamientos, pero sí con respecto a los cultivos realizados en la UICAU “Centro Crecer”.

No se observaron variaciones significativas dentro de los tratamientos referidos a las dosis empleadas, aspecto que al parecer se encuentra enmascarado por la alta composición nutricional del sustrato.

## Recomendaciones

Para investigaciones de este tipo, emplear otras composiciones del sustrato con las dosis que se plantean en este documento, para determinar cuál es la más idónea.

## Referencias

Duque, M. (2008) *Informe final del Contrato 067-2008*. Jardín Botánico José Celestino Mutis. Bogotá D.C., Colombia.

FAO. (SF). Fortalecimiento de la gestión de los comités nacionales del Codex Alimentarius en los países andinos. Disponible en: <http://www.eldis.org/document/A30685>. Consultado: 08/05/2015.

- Filippini, M.; Abril, A.; Cony, M.; Venier, M.; Noe. L.; Cónsoli, D.; Vallone, R. Aplicación de abonos orgánicos y químicos en un cultivo de ajo blanco (*Allium sativum* L.) regado con efluentes tratados. Departamento de Ingeniería Agrícola, Cátedra de Química Agrícola, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Cuyo. Alte Brown 500 5505. Chacras de Coria. Mendoza.
- Florez, R. (2001) *Almacenamiento y transporte para frutas y hortalizas*. Nri, SENA, DFID. Mosquera, 1 edición.
- Fueyo, M. (2002). *Las hortalizas. Un cultivo rentable para la horticultura asturiana*. Sección Diversificación y Medios de Producción.
- Gómez, A., Pomares, F., Albiach, M. R., Canet, R., Baixauli, C. (2002). *Efectos de la fertilización orgánica en cultivos hortícolas: Producción, balance de nutrientes y materia orgánica*. V Congreso de la SEAE - I Congreso Iberoamericano de Agroecología. Actas del Congreso, 443-451p.
- Gutiérrez, R. (2006). *Informe final del Contrato 300-2006*. Jardín Botánico "José Celestino Mutis". Bogotá, Colombia.
- Hernández, C. (1998). *Evaluación de cuatro colores de trampas para la captura de mosca minadora (*Liriomyza huidobrensis* Blanchard) en arveja china (*Pisum sativum* L.), aldea Xeabaj, Santa Apolonia, Chimaltenango*. Investigación Inferencial: Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 44 p.
- Illomaki, S., E, Nikinmaa y A, Makela. (2003). *Crown rise due to competition drives biomass allocation in silver birch*. Can. J. For. Res. 33: 2395.
- Labrador, J. (2004). *Conocimientos, Técnicas y Productos para la Agricultura y la Ganadería Ecológica*. SEAE.
- Lampkin, N. (1998). *Agricultura Ecológica*. Mundi-Prensa. Editorial Española: Madrid.
- Martínez, E. (2000). *Caracterización del sistema de producción agrícola de las aldeas de Xepanil y Xeabaj, del municipio de Santa Apolonia, departamento de Chimaltenango, Guatemala*. Tesis de grado Ingeniería Agrónoma. USAC, Facultad de Agronomía, Guatemala. 111 p.
- Meier, U. (2001). *Estadios de las plantas mono y dicotiledóneas*. 2ª ed., Centro Federal de Investigaciones Biológicas para Agricultura y Silvicultura, Alemania. 149 pp.
- Miller, P., Lanier W., Brandt, S. (2001). *Using Growing Degree Days to Predict Plant Stages*. Montana State University: USA.
- Moreno, Sandra. (2006). *Informe final del Contrato No. 298-2006*. Jardín Botánico José Celestino Mutis, Colombia.
- Pomares, F. Gómez, A. Baixauli, C. Albiach, R. (2003). *Producción y balances de*

*materia orgánica y nutriente en dos rotaciones de hortalizas sometidas a fertilización mineral, orgánica y organo-mineral.* Primer Congreso Iberoamericano de Nutrición Vegetal. Agro Latino. Fertilización, Rentabilidad y Medio Ambiente. Proceedings del Congreso, 134-137 p.

Prácticas Agrícolas. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentos. (1994) *Proyecto Salisbury F. Fisiología Vegetal.* Editorial Iberoamericana: Nebraska.

Semiagro. 2010. Sistema de cultivo de cebolla SIVAN F1-H-202 HAZERA. Consultado el 30 de noviembre de

2010. Recuperado de: [www.semiagro.com.pe/pdf/Manual%20de%20Cebolla.pdf](http://www.semiagro.com.pe/pdf/Manual%20de%20Cebolla.pdf)

Stöckle CO, Donatelli M, Nelson RL. 2003. CropSyst, a cropping systems simulation model. *European Journal of Agronomy* 18(3): 289-307 p.

TCP/RLA/0065. (2002) Ciudad de Guatemala.

Ulloa, A. (2002). Pensando verde: el surgimiento y desarrollo de la conciencia ambiental global en Palacio, *Repensando la naturaleza.* Ed. Universidad Nacional de Colombia-Colciencias.

# Aplicación de tres fertilizantes orgánicos en *Beta vulgaris* L. (remolacha) bajo el contexto de agricultura urbana en la ciudad de Bogotá

Fertilizer application of three organic *Beta vulgaris* L. (Beet) under the context of urban agriculture in the city of Bogotá

Sanabria, María Fernanda<sup>1</sup>; Agudelo, Luz Dary<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Jardín Botánico de Bogotá “José Celestino Mutis”

Fecha de recepción: noviembre de 2015 / Fecha de aceptación: marzo de 2016

## Resumen

Se realizó una comparación de la efectividad de tres fertilizantes de origen orgánico: Té de Compost, Té de Humus y Caldo Super-4 versus testigo (agua) en la especie vegetal remolacha, en dos de los ocho territorios ambientales de la ciudad de Bogotá, denominados Cuenca Río Salitre y Cuenca Río Tunjuelo. Se utilizó un diseño de bloques completamente al azar, con una estructura factorial (3x2), donde el primer factor corresponde al fertilizante empleado y el segundo, a los territorios ambientales. Se midió la productividad obtenida en el peso fresco total de la parte comestible. Los resultados mostraron que para la especie estudiada en los diferentes territorios ambientales existe suficiente evidencia estadística para afirmar que el mejor fertilizante es el Té de Humus.

**Palabras Clave:** fertilización orgánica, agricultura urbana y territorios ambientales.

## Abstract

There was realized a comparison of the efficiency of three fertilizers of organic origin: compost tea, Humus tea and super Broth four versus Witness (waters down) in the vegetable species: Beet in two of eight environmental territories of the city of Bogota, (Salitre river basin, Tunjuelo river basin). Design was used a randomized complete block with a factorial (3x2) where the first factor relates to the fertilizer user and the second one to the environmental territories. There measured up the productivity obtained in the fresh total weight of the eatable part. The results showed that the species studied, and in different environmental territories there is enough statistical evidence to suggest that the best fertilizer is the Humus Tea.

**Keywords:** organic fertilization, environmental territories and urban agriculture.

## Introducción

En los países en vía de desarrollo, la mayoría de los agricultores activos del sector de producción de alimentos son agricultores de pequeña escala que forman parte de la pobreza rural. La introducción de nuevos sistemas agrícolas y de tecnologías mejoradas como fertilizantes orgánicos es muy importante para ellos, dado que la mejora de la productividad da como resultado no solo más alimentos, sino también más ingreso (FAO, 2002). Colombia es uno de estos países donde las implementaciones de tecnologías son incipientes, una de estas es que el manejo de programas de fertilización orgánica no es concebido como práctica aplicada en la agricultura. Otro factor que influye para que esta práctica no se genere, son las amplias extensiones de cultivos de consumo, las cuales han hecho necesaria la introducción de grandes cantidades de fertilizantes químicos con el único propósito de obtener productos deseables para los consumidores, sin pensar por un momento en los perjuicios tanto ambientales como humanos que esto ha traído.

Claro ejemplo de esto es la producción de la especie vegetal remolacha. La producción de esta especie demanda un uso intensivo de mano de obra, presenta además altos costos de producción en un mercado inestable y variable, existe una carencia de tecnología apropiada, el manejo de postcosecha es deficiente y se presenta una alta aplicación de productos químicos. Es por esto que se desea introducir un producto orgánico que permita obtener mejores resultados de

esta especie, en cuanto a sus cualidades nutritivas, siendo mejor, tanto para quien lo cultiva como para el medio ambiente, es decir, un producto ecológico e inocuo.

## Materiales y métodos

### Área de estudio

El estudio se desarrolló en 2 de los 8 territorios del Distrito Capital, específicamente en la Cuenca Río Salitre y Cuenca Río Tunjuelo. Dentro de los espacios seleccionados se realizó la adecuación del área necesaria para la implementación de la investigación en fertilización orgánica y se utilizó un área de 10m<sup>2</sup> en cada espacio.

### Material vegetal

La semilla utilizada para la evaluación de los fertilizantes orgánicos fue suministrada por el Jardín Botánico “José Celestino Mutis”. Esta especie fue escogida, teniendo en cuenta su ciclo biológico corto y porque hace parte de la dieta alimenticia de los habitantes de la ciudad. Adicionalmente se tuvo en cuenta que estas especies fueron las que mayor problemática presentaron en el contexto de agricultura urbana, en el periodo 2004-2008 posiblemente por deficiencia nutricional en los sustratos empleados (Proyecto de investigación en Agricultura Urbana, Jardín Botánico de Bogotá).

## Sustrato

El sustrato se preparó mezclando cascarilla de arroz quemada al 70%, tierra negra y humus en proporción 1:1:2, respectivamente. Dicho sustrato se seleccionó, teniendo en cuenta los resultados de las especies vegetales evaluadas en el año 2010, en la línea de fertilización orgánica del proyecto de agricultura urbana en el Jardín Botánico “José Celestino Mutis”.

## Contenedores

Se emplearon bolsas de polietileno de 28 cm de ancho por 1m de largo. Esto se repite para cada territorio ambiental.

## Variables evaluadas

Las variables determinadas fueron crecimiento (variable 1) y productividad (variable 2). Para la variable crecimiento se realizaron mediciones en la longitud de la hoja, cada 15 días. Para la variable productividad se realizaron mediciones de peso fresco total de la planta, en el momento de cosecha.

## Tratamientos

- » Té de Compost (TC): En concentraciones de 1/10, 1/20, 1/30. a razón de 300ml \* planta<sup>-1</sup>

- » Té de Humus (TH): En concentraciones de 1/10, 1/20, 1/30 a razón de 300ml \* planta<sup>-1</sup>
- » Caldo Super -4 (CS): En concentraciones de 1/10, 1/20, 1/30 a razón de 250 \* planta<sup>-1</sup>

Las aplicaciones de cada uno de los tratamientos se efectuaron con una periodicidad de un mes, a partir del momento de la germinación. Estos tratamientos se mantienen como una constante en cada uno de los territorios anteriormente nombrados.

## Diseño experimental

El diseño experimental utilizado fue un diseño de bloques completamente aleatorizado, con una distribución factorial (2x3) donde 2 son las UICAU y 3, los fertilizantes utilizados. Se desea entonces obtener métodos adecuados para probar las siguientes hipótesis:

$H_0$  = Los resultados esperados con todos los fertilizantes son homogéneos.

$H_1$  = Al menos el resultado de un fertilizante es diferente.

Por lo tanto, se realizó un ANOVA simple para la comparación de los tratamientos en cada una de las especies vegetales, es decir por cada especie y en cada UICAU.

Tabla 1. Diseño experimental línea de fertilización orgánica

		Tipo de fertilizante									
		Té de compost			Té de humus			Caldo Super-4			Testigo
		1/10	1/20	1/30	1/10	1/20	1/30	1/10	1/20	1/30	Agua
TERRITORIOS	Salitre/ Aldeas	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>	T <sub>7</sub>	T <sub>8</sub>	T <sub>9</sub>	T <sub>10</sub>
	Tunjuelo/Centro Crecer	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>	T <sub>7</sub>	T <sub>8</sub>	T <sub>9</sub>	T <sub>10</sub>
	Tunjuelo/Centro Imago	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>	T <sub>7</sub>	T <sub>8</sub>	T <sub>9</sub>	T <sub>10</sub>

## Resultados y discusión

### Análisis del sustrato y biofertilizantes empleados

Para el desarrollo de este acápite y su fácil interpretación fue necesario realizar un análisis del sustrato sobre el cual se establecieron los cultivos, determinando de esta forma cuánto aporta el sustrato a los requerimientos nutricionales de los cultivos y cuánto aportan los té y el Caldo Super -4.

Algunos de los nutrientes presentes en el sustrato empleado fueron suficientes al momento de la plantación para satisfacer los requerimientos del cultivo, es por ello que como se explica en la metodología, las aplicaciones se realizaron una vez al mes. Es bueno resaltar que las trazas de la mayoría de nutrimentos son mayores en el sustrato que en los biofertilizantes, lo que permite ir respondiendo de forma periódica

lo que le ha sido extraído y convertido en materia seca por la planta para su óptimo crecimiento.

Por otra parte, la dinámica de crecimiento promedio evidencia que los valores más altos para esta especie fueron mostrados en el Territorio Cuenca Salitre en “Centro Aldeas SOS”, siendo de 34,17cm con el tratamiento de Té de Compost en la concentración 1/ 20, para el Territorio Tunjuelo en “Centro Crecer” fue de 32,2 cm en el mismo tratamiento y en la misma concentración, frente a los testigos, los cuales presentaron un crecimiento promedio de 25,8 cm y 24,5cm respectivamente. Esta conducta se ve disminuida en el tratamiento Caldo Super-4 en la concentración 1/20 en la UICAU Tunjuelo, con un crecimiento promedio de 24,8 cm, muy similar a los resultados arrojados por los testigos.

Para (Vázquez y Torres, 2006), el crecimiento en longitud de los tallos es una medida indirecta del desarrollo de la planta

respecto al tiempo, cuando existe un buen balance nutricional en el sustrato. Esto ha de permitir la expresión del potencial productivo del cultivo, lo que se traduce en rendimientos agrícolas.

(Torres, 2006) indica que la remolacha es muy exigente a la fertilización para su buen desarrollo, es por esto que es aconsejable fertilizar con compost bien producidos. En el caso del fertilizante que mejor resultados reportó, respecto a la variable longitud fue el Té de Compost, aportando en el caso del macronutriente esencial un contenido de nitrógeno de 1,97%, ubicándose entre los requerimientos de la especie (1-2%), permitiendo su óptimo desarrollo foliar, caso contrario tanto con el sustrato utilizado que se encuentra por debajo del requerimiento, como con los demás fertilizantes, en especial con el Caldo Super- 4, los cuales exceden los requerimientos de esta especie como se indica en la Tabla 2. Estos valores impiden la movilización de azúcares en la planta y en especial en la raíz. En el caso del micronutriente esencial, se encuentra el boro, donde el Té de Compost proporcional el requerimiento ideal para esta especie (6,5 ppm). Caso contrario, tanto en el sustrato como en los otros fertilizantes que se encuentran por encima o por debajo de su requerimiento como se puede apreciar en la Tabla 2.

En términos de aporte nutricional para la remolacha, los tratamientos

utilizados, aportan en mayor grado, niveles altos de nitrógeno, el cual ayuda al crecimiento foliar y evita la clorosis en las hojas (Cuadros & Sánchez, 1995). La concentración de nitrógeno ideal para esta especie es de 1- 2%, el sustrato utilizado humus: tierra: cascarilla aporta 0.79%, el Té de Compost 1.97%, 2.37% en el Té de Humus y 48% en el Caldo Super-4, evidenciándose carencia de este elemento en el sustrato, sabiendo que la baja concentración de este ocasiona hojas pequeñas en las plantas, disminución significativa del número de las hojas, debilidad de las plantas, raíces pobres, palidez, amarillamiento del follaje, maduración acelerada, flores débiles, muerte prematura y rendimiento menor que lo normal. El nitrógeno se requiere durante todas las etapas del desarrollo de las plantas (Nicholls, 2008).

El Caldo Super -4 a diferencia de los otros tratamientos, excede la concentración ideal de este elemento para esta especie, haciendo que se genere una disminución de la capacidad de movilización de los azúcares hacia la raíz, pero aumentando la producción de hojas. (García, 2002).

Esto se puede corroborar con los datos obtenidos de crecimiento y número de hojas de esta especie, donde los valores más bajos fueron los del tratamiento Caldo Super- 4, como se aprecia en la Figura 1 y la Figura 2 a continuación.



**Figura 1.** Reducción en el número de hojas por planta por toxicidad debido a exceso de nitrógeno



**Figura 2.** Planta de remolacha tratada con Caldo Super-4, a los 60 días

La fertilización y en especial la aplicación de nitrógeno debe realizarse antes de la siembra en un 60%, y el resto después de la germinación, ya que el ciclo vegetativo de esta especie es muy corto, además de que aportaciones tardías de nitrógeno, pueden alargar el ciclo de la planta, empeorar la calidad del fruto y disminuir la riqueza

del producto. (Fundación de Desarrollo Agronómico, 2005). Esto se observó aleatoriamente en los dos territorios ambientales. Esta siembra estuvo encampo aproximadamente 120 días, cumpliendo entonces con lo anteriormente mencionado, ya que es una especie de 90 días. Esto se puede apreciar en la Figura 3 y la Figura 4.



**Figura 3.** Remolacha en Territorio Cuenca Salitre



**Figura 4.** Daños en la calidad del fruto agrícola en el Territorio Cuenca Tunjuelo

Respecto al fósforo y al potasio, los valores ideales para este cultivo son de 20-28 ppm de fósforo y 151-251 meq.100g de potasio. El sustrato utilizado presenta de 95 ppm

a 14.58 meq- 100g, respectivamente. El Té de Compost presenta 108 ppm y 85 meq-100g, el Té de Humus 14.9 ppm y 155 meq-100g y el Caldo Super-4, 35 ppm y 2.05

meq.100. El sustrato excede los valores ideales de fósforo para el desarrollo de esta especie, al igual que el Caldo Super-4, ocasionando achaparramiento, raíz alargada y bulbos deformados. Los téis por el contrario, muestran valores dentro del rango. El fósforo en una concentración ideal acelera el desarrollo de la primera etapa del cultivo, además de mejorar el contenido en sacarosa en el bulbo. Este se manifiesta principalmente en los estados jóvenes de la planta. Por tanto es

recomendable aplicarlo lo más temprano posible para que esté disponible y asimilable en los primeros estados de la remolacha. (AIMCRA, 2005). Por su parte, el potasio es muy requerido en los cultivos de producción de azúcares o almidones como la remolacha, además de que es muy requerido, puesto que les genera resistencia a condiciones ambientales (Berlijn, 1999). A continuación, en la Figuras 5 y la Figura 6 se evidencian deficiencias de fósforo y potasio.



Figura 5. Alargamiento de los bulbos

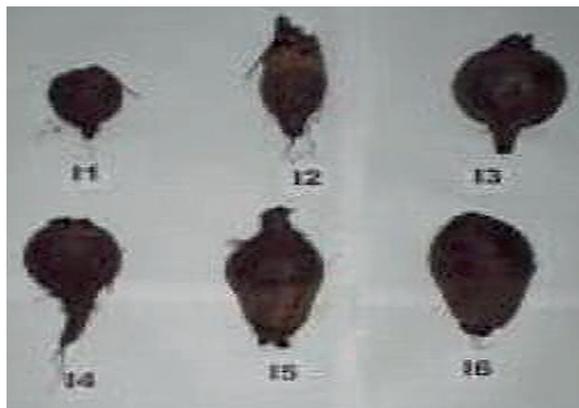


Figura 6. Deformación de los bulbos

Durante el desarrollo vegetativo, en la planta de remolacha se pueden observar 3 partes claramente diferenciadas: las hojas, la raíz y la corona. Esta última se hace especialmente patente en las últimas fases del desarrollo. Las hojas realizan el intercambio con la atmósfera (la fotosíntesis y la transpiración), acumulan y asimilan el nitrógeno. Se puede considerar así la fábrica de producción de biomasa. La raíz principal posee las funciones de acumulación, de reserva y osmoregulación. De la raíz principal parte todo un sistema radicular con funciones de absorción de agua y nutrientes. En la etapa inicial del cultivo, la mayor parte de la biomasa se encuentra en las hojas. A partir de los 50 días posteriores a su siembra, existe un crecimiento paralelo de raíz y hojas, es decir, la planta dedica la misma cantidad de asimilados al crecimiento aéreo y al crecimiento radicular. Ya a los 75 días aproximadamente, la producción foliar se paraliza principalmente por un aumento de la senescencia, mientras que la producción de raíz se mantiene de forma casi lineal. (Martínez, 2005).

Este cultivo es muy exigente ante la alta intensidad lumínica y temperaturas constantes, pues si crece en sombrero el rendimiento y la calidad (textura, color y azúcares) disminuyen. La aparición de una hoja nueva está estrechamente relacionada con la integral térmica, apareciendo una hoja cada 30 días. Es decir, una hoja aparece cada 4 días, si la temperatura media diaria es de 10,5°C o cada 2 días, si dicha temperatura media diaria es de 18°C. Esta aparición no se ve influenciada por la disponibilidad de nutrientes o agua.

En cambio, el desarrollo y la expansión de la hoja, que es lo que se puede observar en campo, sí se encuentran afectados por dichos factores (Morillo, 2005). Esto se pudo observar en el crecimiento general de las hojas de este cultivo, especialmente en el Territorio Cuenca Río Tunjuelo “Centro Crecer” y que fue de 32,2cm, ya que acá los cambios bruscos de temperatura son más fuertes, aproximadamente de 13-14°C, comparado con el Territorio Cuenca Río Salitre “Aldeas SOS”, mostrando una temperatura promedio de 15°C y un crecimiento de 35,5cm. (Universidad Nacional de Colombia, 2010). Comparando los resultados de los testigos de las dos territorios ambientales, los cuales solo fueron tratados con agua y limitados a los nutrientes que el sustrato contenía, fue mejor el crecimiento promedio del testigo de “Aldeas SOS”, el cual fue de 29,8cm, en comparación con el de “Centro Crecer” que fue de 29,6cm.

El peso total de las hojas y el bulbo de las plantas de remolacha en los dos territorios ambientales, en cuanto a la aplicación de los biofertilizantes utilizados tuvieron algunos efectos. Al analizar la influencia de los diferentes tratamientos sobre la acumulación de biomasa en los dos cultivos evaluados, se puede observar que la conducta de mayor acumulación se obtuvo en el Territorio Cuenca Río Salitre en las plantas tratadas con el Té de Humus en una concentración 1/10, un peso total de 180gr. En el Territorio Salitre el mejor resultado se obtuvo en el mismo tratamiento y en la misma concentración con un peso total de 150gr. La menor acumulación se obtuvo en el Territorio Cuenca Río Tunjuelo en

las plantas tratadas con Té de Compost en la concentración 1/20, obteniendo un peso total de 97.7 gr. Esto puede ser porque los niveles de fósforo aportados por este fertilizante son menores a los que la planta requiere para aumentar el contenido de sacarosa en el bulbo, además que la presencia de plagas pudo generar la eliminación de algunas hojas en este tratamiento, disminuyendo así su peso total en el momento de las cosechas.

La fertilización nitrogenada es de primordial importancia en la producción del cultivo de remolacha, puesto que es determinante en el nivel de producción y en la calidad del producto (Hills *et al.*, 1990). La calidad tecnológica de la remolacha no es un parámetro de carácter único que puede ser presentado en forma cuantitativa por un valor numérico. Esta es una combinación de todos los aspectos químicos y físicos de la raíz de la remolacha que influyen en el rendimiento del proceso de fabricación, y afectan a la producción de azúcar y la de sus subproductos (Oldfield, 1974).

Es por esto que los resultados arrojados en la presente investigación muestran un mayor rendimiento en peso fresco de los bulbos con los tratamientos Té de Humus en el Territorio Cuenca Río Tunjuelo en la concentración 1/10, es decir 160gr y 180gr y en el Territorio Cuenca Río Salitre con el mismo tratamiento y la misma concentración. Estos fertilizantes presentan un porcentaje de nitrógeno de 1,97 y 2,37%, respectivamente, cumpliendo con los requerimientos de este elemento en esta especie. El sustrato compuesto por la mezcla humus/tierra/cascarilla utilizado presenta un porcentaje casi imperceptible para el requerimiento de la misma. El Caldo Super- 4 presenta un porcentaje superior, generando toxicidad y poco llenado de los bulbos.

La humedad relativa presente en los dos territorios es elevada para esta especie. Tunjuelo 48% y Salitre 73,2%, haciendo que se retrasé el crecimiento de una forma significativa y aumentando el color rojo en el follaje, especialmente en las venas de las hojas como se puede observar en la Figura 7 y la Figura 8.



Figura 7. Remolacha sembrada en Tunjuelo



**Figura 8.** Remolacha sembrada en Aldeas

Cabe resaltar que esta especie puede soportar deficiencias en el suelo sin que esto afecte en gran medida su rendimiento. Sin embargo, la repetición de sequía y abundancia de humedad en el suelo pueden causar la rajadura o la decoloración interna de la raíz. (Fundación de Desarrollo Agronómico, 2005).

Se deben evitar los encharcamientos, ya que se puede asfixiar la raíz y se puede propiciar el ataque por patógenos en el suelo. Esto se pudo evidenciar en los dos territorios ambientales, tanto en Salitre como en Tunjuelo, donde las precipitaciones han sido intensas y constantes, como se aprecia en la Figura 9.



**Figura 9.** Encharcamiento en zona de cultivo

Las plantas tienen respuesta diferencial a los distintos factores limitantes. Su grado de sensibilidad o tolerancia varía de acuerdo con las distintas especies e incluso variedades y su interrelación con el medio ambiente (suelo, clima y manejo). El crecimiento promedio de todas las plantas es similar entre los tratamientos, como se puede observar en la Figura 1. Esto se debe a que la remolacha tiene un rango de tolerancia a la salinidad entre 10 y 12 meq-100g, siendo este elemento limitante, ya que por encima o por debajo de este, se impide la estimulación del crecimiento de la remolacha. (Fundación de Desarrollo Agronómico, 2007). Esto se confirma con los resultados de los análisis físico-químicos realizados por el laboratorio Allchem, donde el sustrato y los fertilizantes empleados para este ensayo presentan salinidad de 38.45 meq-100g para el sustrato, 30.9 meq-100g para el Té de Compost, 28.63 meq-100g para el Té de Humus y 0.1 meq-100g para el Caldo Super-4. Otro factor que altera la salinidad de un suelo, es el uso del agua de riego, cuando el suelo posee sales, ya que pueden llegar a provocar un exceso en este, provocando una disminución importante en el cultivo (Vásquez, 2002).

Dentro de los micronutrientes limitantes para el cultivo de la remolacha se encuentra el boro que es el más crítico y el magnesio. En el caso del boro, el valor ideal para esta especie es de 5.5 -6,5 ppm. Según los análisis físico-químicos realizados del sustrato y los fertilizantes, el sustrato utilizado tiene un rango de 0.3 ppm, es decir muy por debajo

del requerimiento. En el caso de los fertilizantes que están muy por encima del mismo, generan plantas enanas, hojas pequeñas, decoloración de los frutos, y en algunas ocasiones, el bulbo presenta una coloración negra en el corazón, dejando la producción sin valor comercial alguno.

A nivel del suelo, el boro es un estimulante de absorción de otros nutrientes, pero cuando se sale de los valores de referencia, ocasiona la inmovilización de los otros elementos. Otro factor limitante del boro es el pH, ya que si un sustrato presenta un pH de 7.5 puede causar su deficiencia. Esto se presenta en el sustrato utilizado, ya que tiene un pH 7.7. Tanto con el Té de Compost de 7.4, como con el Caldo Super-4 de 4.9 están por fuera del rango de pH requeridos por esta especie, ya que para que genere una buena producción necesita un pH entre 6.5-7. Caso contrario pasa con el Té de Humus, el cual mostró los mejores resultados en peso fresco (Fundación de Desarrollo Agronómico, 2005).

Por su parte, la deficiencia o el elevado porcentaje de manganeso causa la coloración púrpura de las hojas y un pobre crecimiento de las mismas y de la raíz de la planta. El rango de este elemento en esta especie es de 4-8 meq-100g, el sustrato presenta 49.86 meq-100g, muy por encima de lo ideal y el Caldo Super-4 muy por debajo, 1.6 meq-100g, mientras que los téis se encuentran en los rangos. El color púrpura de las hojas se evidencia en la siguiente figura, la cual pertenece al tratamiento Caldo Super-4.



**Figura 10.** Coloración púrpura en las hojas de remolacha que se encuentran bajo los efectos del tratamiento Caldo Super-4.

Por otra parte, (Vázquez & Torres, 2006) señalan que, el potasio tiene un fuerte efecto antagónico sobre el magnesio y el aluminio. También tiene un fuerte efecto antagónico sobre la absorción de magnesio por parte de la planta. Adicionalmente acotan que, si el nivel de boro en planta es bajo, la planta no podrá utilizar completamente el calcio y por lo tanto aplicaciones adicionales de calcio estarán desperdiciadas. El exceso de fósforo dificulta la absorción de zinc y por último, la fertilidad óptima ayuda a asegurar el máximo rendimiento económico y reduce los efectos adversos del clima, enfermedades y plagas.

## Referencias

- Berlijn, J. (1999). *Horticultura, Manuales para la Educación Agropecuaria*.
- Cuadros L, Sánchez A. (1995). *Análisis del crecimiento y desarrollo de 2 variedades*

*de Coliflor en la Sabana de Bogotá*. Universidad Nacional de Colombia.

- FAO. (2000). *Los principales factores ambientales y de suelos que influyen sobre la productividad y el manejo*. Manual on integrated soil management and conservation practices.
- Fundación de Desarrollo Agronómico. (2005). Santo Domingo.
- García, M. (2002) *Nutrición vegetal balanceada y riego por goteo en cultivos hortícolas*. Asesor técnico independiente en fertirrigación. Estado de Guanajuato Buenavista.
- Hills, f., Winter, S., Henderson, D (1990). "Sugarbeet". Irrigation of agricultural crops. Asa monograph, n<sup>o</sup> 30. 795-810 p.
- Martínez, J. Morillo, R. Velarde, L. Gordo R. (2005). *El desarrollo de la remolacha*

*azucarera en la siembra otoñal*. Aimcra. Asociación de investigadores para la mejora de la mejora del cultivo de la remolacha azucarera.

Nicholls, C. (2008). Suelos saludables, plantas saludables: la evidencia agroecológica. LEISA. *Revista de agroecológicas*.

# Modelo electromagnético para la velocidad volumétrica local de absorción de fotones en la fotocatalisis heterogénea

## Electromagnetic model for local volumetric rate of photon absorption in heterogeneous photocatalysis

López, Andrés Felipe<sup>1</sup>; Ramos, Germán Ernesto<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidad Libre. Director de Investigación, Facultad de Ingeniería.

<sup>2</sup>Universidad Cooperativa de Colombia. Docente tiempo completo

Fecha de recepción: septiembre de 2015 / Fecha de aceptación: enero de 2016

### Resumen

Las reacciones fotocatalíticas se inician en el instante en que la partícula de catalizador absorbe un fotón capaz de generar portadores de carga en su interior. Por esta razón es preciso cuantificar la velocidad volumétrica local de absorción de fotones (LVRPA). El rendimiento del proceso fotocatalítico se puede determinar cuando las distribuciones espaciales y direccionales de intensidades de radiación se conocen en la suspensión, resolviendo en parte el problema de la velocidad de reacción. Esta relación es descrita mediante la (LVRPA) que representa la distribución espacial o disponibilidad fotónica en el reactor. Las ondas electromagnéticas (fotones) que son las encargadas del proceso de activación del catalizador cuando penetran en el medio, son dispersadas, absorbidas y reflejadas por la suspensión. El modelo electromagnético para la determinación de la velocidad de absorción fotónica, se desarrolló en función de las características eléctricas y magnéticas del medio, considerando factores de fase y atenuación de la suspensión a tratar. Para tal fin se evaluó experimentalmente la permitividad, permeabilidad y conductividad de la suspensión. Se empleó el modelo de seis flujos para simular la absorción fotónica. El modelo desarrollado es un enfoque nuevo respecto a los reportados en la literatura y su validación mostró una desviación aceptable con base en los datos reportados.

**Palabras Clave:** radiación solar, absorción y foto catálisis.

### Abstract

Photocatalytic reactions are initiated at the instant that the catalyst particle absorbs a photon can generate charge carriers therein, therefore it is necessary to quantify the local volumetric rate of absorption of photons (LVRPA). Performance photocatalytic process can determine when the spatial and directional distributions of radiation are known in the suspension, partly solved the problem of the reaction rate. This relationship is described by (LVRPA) representing the spatial distribution or photonic availability in the reactor. Electromagnetic waves (photons) which are responsible of catalyst activation process when penetrating the medium, are dispersed, absorbed and reflected by the suspension. The electromagnetic model for determining the speed of photon absorption was developed based on the electrical and magnetic characteristics of the medium, considering factors phase and attenuation of the suspension to be treated. For this purpose was experimentally evaluated the permittivity, permeability and conductivity of the suspension. Six flows model was used to simulate the photonic absorption. The model developed is a new approach to those reported in the literature and validation showed acceptable deviation based on the data reported.

**Keywords:** solar radiation, absorption and photocatalysis.

## Introducción

La fotocatalisis heterogénea basada en  $\text{TiO}_2$  y semiconductores modificados se ha utilizado últimamente para el tratamiento y purificación de efluentes ligeramente contaminados ( $< 1 \text{ mg L}^{-1}$ ), en auto-limpieza de superficies y como ruta alternativa en la generación de energía de manera sostenible. Mediante la irradiación del semiconductor con niveles de energía superior a su band gap ( $\text{TiO}_2 \lambda < 384 \text{ nm}$ ) se genera un par electrón/hueco, capaz de iniciar reacciones de reducción y oxidación. Las reacciones de oxidación por medio de los huecos generados, se produce en la superficie del  $\text{TiO}_2$  en medio acuoso a través de radicales hidroxilos responsables de la degradación de una amplia gama de contaminantes dentro de los que se cuentan compuestos orgánicos, inorgánicos e inactivación de microorganismos y toxinas. Los electrones fotogenerados pueden reducir metales pesados y emplearse en la generación de hidrógeno fotocatalítico [1].

Bastantes han sido los resultados obtenidos a escala de laboratorio, pero lamentablemente muchos de ellos no tienen éxito a nivel industrial o comercial, puesto que la técnica requiere, entre otros factores, del adecuado escalado de fotorreactores diseñados para tal fin. Debido a lo complejo del estudio de la interacción entre los fotones incidentes y los pares electrón/hueco fotogenerados y su relación existente entre la óptica del fotorreactor, muchas de las aplicaciones comerciales se han presentado, realizando

aproximaciones. Parte de esta limitación se debe a que el escalado del fotorreactor se fundamenta en la determinación de los parámetros cinéticos, los cuales son función del rendimiento cuántico en el fotorreactor. Dicho rendimiento se puede determinar cuando las distribuciones espaciales y direccionales de intensidades de radiación se conocen en la suspensión, resolviendo en parte el problema de la velocidad de reacción. Esta relación es descrita mediante la velocidad de absorción local de fotones (LVRPA) que representa la distribución espacial o disponibilidad fotónica en el reactor. Las ondas electromagnéticas (fotones) que son las encargadas del proceso de activación del catalizador cuando penetran en el medio, son dispersadas, absorbidas y reflejadas por la suspensión. La descripción de este complejo proceso se realiza mediante un modelo físico matemático, al que se le conoce como ecuación de transferencia radiativa (ETR).

En esta investigación se realizó un modelo electromagnético para la determinación de la velocidad volumétrica local de absorción de fotones. Basados en las características eléctricas y magnéticas de la suspensión se pudo determinar el rendimiento cuántico del proceso fotocatalítico heterogéneo ( $\text{TiO}_2$ ) en el colector. El análisis de las características electromagnéticas del medio permitió realizar un estimativo de la absorción de energía local inherente al medio, para poder obtener un modelo de la velocidad volumétrica local de absorción de fotones. Para tal fin se diseñaron experimentos conducentes a la determinación de los parámetros

electromagnéticos que participan en la solución matemática del modelo. El modelo fue validado con datos de la literatura [2] bajo las mismas condiciones experimentales reportadas, presentándose un ajuste claro entre las medidas reportadas y el modelo electromagnético desarrollado.

Modelo Electromagnético de la LVRPA: Se utilizó el enfoque de dos flujos TFM [3] y el de seis flujos SFM [4] para la elaboración del modelo de la LVRPA propuesto. Utilizando la teoría electromagnética se presentó una forma de establecer la LVRPA a partir de las características del medio y de la frecuencia de los rayos incidentes sobre el medio acuoso, los cuales corresponden a los rayos reflejados por la superficie reflectante del colector.

Con el fin de delimitar el estudio, además de establecer un “sincretismo” entre lo desarrollado con los modelos de 2 y 6 flujos, como se ve en la Figura 1.

Se supusieron las siguientes condiciones del modelo:

### Condiciones del modelo electromagnético

- Sistema de coordenadas cilíndricas, describen de la mejor manera el comportamiento de los rayos reflejados por los planos reflectores del colector sobre el tubo cilíndrico de vidrio por el que discurre la suspensión.
- La dirección de incidencia de los rayos es radial respecto al sistema de coordenadas cilíndrico propuesto, como se evidencia en la Figura 1.
- Existen planos con la misma forma de distribución de partículas.
- Los rayos incidentes serán reflejados con un ángulo  $\theta$  respecto a la dirección radial.
- El catalizador absorbe toda la radiación local. Debido a esto se hace necesario calcular el factor de atenuación de las ondas electromagnéticas en el medio.
- No hay emisión por el sistema heterogéneo.

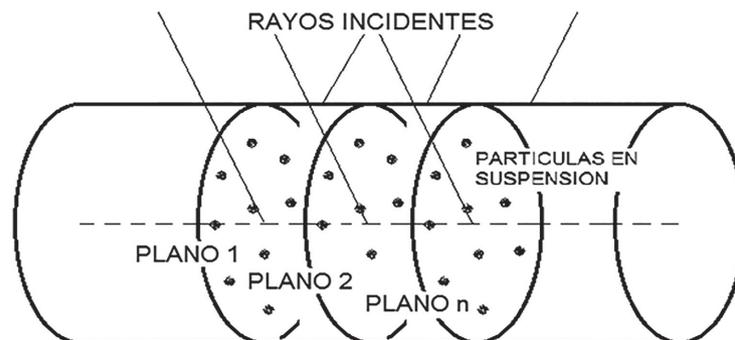


Figura 1. Representación de los planos en el reactor cilíndrico. Rayos incidentes radiales y distribución del  $\text{TiO}_2$  en suspensión

El procedimiento para la obtención del modelo se describe a continuación:

- a. Elección de los modelos de flujos: El modelo de flujos representa una manera de describir la forma cómo los fotones interactúan con la suspensión. El flujo de fotones fue modelado suponiendo que los fotones que interactuaban con el medio, presentaban solamente dos direcciones posibles de dispersión (adelante–atrás). El modelo de seis flujos representa el modelo de dos flujos llevado a tres coordenadas rectangulares, de tal manera que existirían 6 posibles direcciones de dispersión (6 flujos). Este hecho establece la posibilidad de tener el modelo de 6 flujos ya no en coordenadas cartesianas, sino en coordenadas cilíndricas.
- b. Sustituto de la derivación: Se presentó un desarrollo matemático para establecer el sustituto adecuado a la derivación total (tasa de cambio en una dimensión). Se estableció que el sustituto adecuado para la derivada unidimensional es la divergencia.
- c. Modelo propuesto: Los modelos de 2 y 6 flujos representan aproximaciones de cómo los fotones interactúan con el medio. Se propuso entonces que el flujo de fotones por unidad de área que impactan la partícula debe ser proporcionales a la cantidad de fotones que penetran la suspensión.
- d. Solución de la ecuación propuesta: Tomando la divergencia en coordenadas

cilíndricas se solucionó la ecuación diferencial parcial, utilizando el método de separación de variables de Fourier, donde apareció una constante (dependiente de las condiciones iniciales) y un valor propio (dependiente de las condiciones de frontera), las cuales debieron ser determinadas para la obtención del modelo electromagnético propuesto, que a todas luces representa una nueva forma de afrontar el problema.

- e. Determinación de las constantes: Para determinar las constantes se aplicaron los conceptos de factor de atenuación, fase y de propagación, en un medio donde la densidad o distribución de cargas no es significativa. Los factores de atenuación y fase están relacionados con las constantes.

La divergencia mide la tasa de cambio de volumen asociada al campo  $U$ . Se ha podido establecer finalmente que el sustituto adecuado a la derivada como razón de cambio en  $\mathbb{R}^1$  es la divergencia [6].

Bajo el supuesto que el sustituto adecuado en  $\mathbb{R}^2$  para la derivada es la divergencia, se puede expresar que la divergencia del campo es proporcional a la magnitud del mismo, es decir, es una extrapolación 3D a lo que comúnmente se conoce como Ley de Absorción de Lambert en 1D. Bajo esta suposición y las enumeradas en el modelo propuesto, estas hipótesis llevan a la ecuación propuesta.

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{I} + k|\vec{I}| = 0 \quad (1)$$

El principio de Lambert (Ec. 2) afirma que cuando un rayo de luz pasa por una sustancia, la razón con la que decrece su intensidad  $I$  es proporcional a  $I(r)$ , en donde  $r$  representa el espesor del medio.

$$\frac{dI}{dr} = -\alpha I \quad (2)$$

En coordenadas curvilíneas ortogonales, ecuación de Lambert en  $\mathbb{R}^3$ , se representa en la Ec. 3

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{I} + k|\vec{I}| = \frac{1}{J} \sum_{i=1}^3 \frac{\partial}{\partial q_i} \left( \frac{J I_i}{h_i} \right) + kI \quad (3)$$

Los  $h_i$  son los factores de escala en la transformación de coordenadas. Los valores correspondientes a las coordenadas cilíndricas, son  $h_r=1$ ;  $h_\theta=r$ ;  $h_z=1$  con lo cual la Ec. 3 toma la forma

$$\frac{1}{r} \left\{ \frac{\partial}{\partial r}(rI) + \frac{\partial}{\partial \theta}(I) + \frac{\partial}{\partial z}(I) \right\} + kI = 0 \quad (4)$$

Por las condiciones expuestas en el modelo (condición 3), la Ec.4 no depende de  $z$  con lo cual la ecuación propuesta puede escribirse como:

$$\frac{1}{r} \left\{ \frac{\partial}{\partial r}(rI) + \frac{\partial}{\partial \theta}(I) \right\} + kI = 0 \quad (5)$$

La que representa una variación radial del flujo dependiente del factor  $k$  que se relaciona con las características electromagnéticas del medio.

Para encontrar la solución de la ecuación diferencial parcial (Ec.5) se planteó la solución por el método de separación de variables de Fourier [7] suponiendo la solución de la ecuación de la forma:

$$I(r, \theta) = R(r) \Theta(\theta) \quad (6)$$

La solución de la Ec.5 es:

$$I(r, \theta) = I_0 r^{(\lambda-1)} e^{-(kr+\lambda\theta)}$$

$$\text{y como } r^{\lambda-1} = e^{Ln r^{\lambda-1}} = e^{(\lambda-1)Ln r} \quad (7)$$

Se puede escribir como:

$$I(r, \theta) = I_0 e^{(\lambda-1)Ln r - kr} e^{-\lambda\theta} \quad (8)$$

Los valores de  $\lambda$  y  $k$  corresponden a los valores propios de la Ec.8 relacionada con las condiciones de frontera y las características electromagnéticas de la suspensión respectivamente. Estas son la conductividad eléctrica, la permeabilidad magnética y la permitividad eléctrica, que son propias del medio en donde se propaga la onda electromagnética (suspensión).

Por ser la luz una onda electromagnética, está sometida al fenómeno de atenuación (pérdida de potencia al penetrar en el medio). Dicha pérdida de potencia está relacionada con la profundidad de penetración de la onda y del factor de atenuación de la misma en el medio.

Como se mencionó anteriormente, cuando la onda electromagnética pasa por una sustancia, la razón con la que decrece su intensidad  $I$  es proporcional a  $I(r)$ , en donde  $r$  representa la longitud de penetración del rayo de luz en el medio Ec. 2. El factor  $\alpha$  representa la atenuación que es propia de cada medio y está relacionada con las propiedades del mismo.

Claramente se puede establecer que parte de dicha pérdida está relacionada con la absorción de la radiación por parte del semiconductor para poder participar del proceso de fotodegradación de los contaminantes (condición 5 y 6). Este factor está relacionado con  $\lambda$  de la solución del modelo propuesto (Ec. 5).

Como:

$$(\lambda - 1) Lnr - kr = \alpha r = \omega \sqrt{\frac{\mu\varepsilon}{2} \left[ \sqrt{1 - \left(\frac{\sigma}{\omega\varepsilon}\right)^2} - 1 \right]} r \quad (9)$$

Se obtiene que

$$\lambda = 1 \quad (10)$$

Ahora debe cumplirse la condición que  $\lambda\theta = \beta\theta$  teniendo presente que  $\beta$  (Factor de fase de la onda electromagnética) es la parte imaginaria del complejo  $\gamma$  (Factor de propagación) [15]. Sí  $\lambda=1$ , se tiene

que  $\theta = -j\beta$  ó  $\theta = 0$ . Para cualquiera de los dos casos, la solución de la ecuación es independiente de la variación de ángulo que es constante. Así, el modelo propuesto toma la forma:

$$I(r, \theta) = I_0 e^{-\omega \sqrt{\frac{\mu\varepsilon}{2} \left[ \sqrt{1 - \left(\frac{\sigma}{\omega\varepsilon}\right)^2} - 1 \right]} \cdot r} e^{-\left( \omega \sqrt{\frac{\mu\varepsilon}{2} \left[ \sqrt{1 - \left(\frac{\sigma}{\omega\varepsilon}\right)^2} - 1 \right]} \right)} \quad (11)$$

La Ec. 11 corresponde a la solución analítica del modelo propuesto (Ec. 5) con las condiciones establecidas en el desarrollo donde

$\omega$  representa la frecuencia promedio de los rayos incidentes (frecuencia promedio de la radiación UV).

$\mu$  es la permeabilidad magnética de la suspensión.

$\varepsilon$  es la permitividad eléctrica de la suspensión.

$\sigma$  es la conductividad eléctrica de la suspensión.

## Validación del modelo propuesto

La Tabla 1 recoge los valores obtenidos experimentalmente para resistencia (R), susceptibilidad y permitividad. La

permeabilidad magnética ( $\mu$ ) fue obtenida mediante medidas indirectas referidas al método experimental. El valor de la última columna corresponde a los cálculos hechos respecto a la relación descrita en la Ec. 14 para el factor de atenuación.

$$\alpha = \omega \sqrt{\frac{\mu\epsilon}{2} \left[ \sqrt{1 - \left(\frac{\sigma}{\omega\epsilon}\right)^2} - 1 \right]} \quad (12)$$

**Tabla 1.** Determinación experimental de las diferentes propiedades electromagnéticas de suspensión de  $TiO_2$

T, s TIEMPO	R x 10 <sup>6</sup> , Ohm RESISTENCIA	S/m CONDUCTI- VIDAD	adimensional SUSCEPTI- LIDAD	adimensional CONSTANTE DIELÉCTRICA	X 10 <sup>-10</sup> , F/m PERMITIVIDAD	X 10 <sup>-7</sup> , Tm/A PERMEABILI- DAD	X10 <sup>-1</sup> , Np/m ATENUACIÓN
0	11.2	0.09	0.85	60	5.3	1.9	8.48
5	12.2	0.09	0.87	61	5.4	1.6	7.39
10	12.8	0.08	0.84	62.1	5.5	2	7.65
15	13.8	0.08	0.91	67	5.9	1.1	5.52
20	15.2	0.08	0.92	71	6.3	1	5.12
25	16	0.07	0.83	74.3	6.6	1.9	6.31
30	17.2	0.06	0.93	75	6.6	8.8	3.45
35	18.3	0.05	0.89	76.5	6.8	1.4	3.57
40	20.6	0.03	0.86	80.2	7.1	1.8	2.36
45	21.2	0.02	0.71	81.5	7.2	3.6	2.25

Debido a que el modelo propuesto en la Ec. 11 está descrito en función del factor de atenuación [15-16] Ec. 12, el comportamiento de dicha variable en función de la concentración de  $TiO_2$  se muestra en la Figura 2. En ella se muestra la disminución al final del proceso que correspondería a la

desaparición de la especie contaminante y, por ende, a la traslucidez de la suspensión. Este comportamiento supone la estabilidad del proceso fotocatalítico, en la cual no se presentan mayores cambios de mineralización de las especies contaminantes presentes en la suspensión.

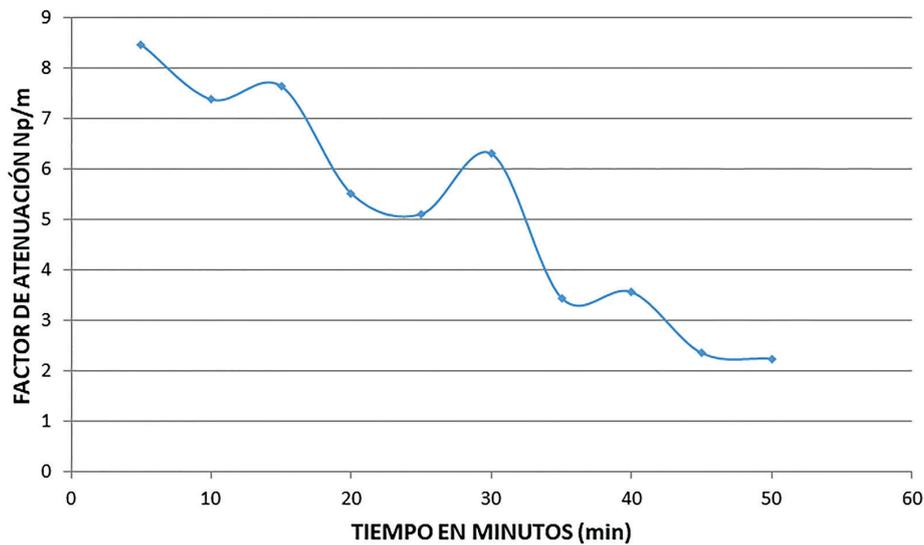


Figura 2. Variación de la atenuación respecto al tiempo para cada muestra.

Para realizar las mediciones presentadas en la Tabla 1, se dieron las condiciones reportadas [2], ácido oxálico con una concentración de 1 g/l, en agua desionizada, (concentración final de 10mM). Se tomaron las muestras de permitividad eléctrica, con un sistema de placas paralelas de acero inoxidable de área 10x5 cm, con una distancia de separación entre placas de 4 mm.

La permeabilidad magnética se midió estableciendo la dirección del campo magnético terrestre, mediante el uso de una brújula para ubicar de forma paralela al campo, los anillos de Helmholtz, luego se hizo circular corrientes continuas que atraviesan el conductor de los anillos de Helmholtz, identificando los cambios de dirección, mediante la brújula inmersa en una muestra de la solución. Se calculó la permeabilidad magnética. La medición de la conductividad eléctrica

se realizó utilizando un tubo de vidrio de sección transversal circular, cuyo diámetro interno era de 8 mm, con una longitud de 5 cm. Uno de los extremos se selló con una lámina metálica circular de acero inoxidable del mismo diámetro del tubo. El otro extremo se le diseñó una tapa plástica que albergaba una lámina metálica del mismo diámetro del tubo. Se midió la resistencia de muestra de la solución cada 5 minutos.

El factor de atenuación presenta una clara tendencia de disminución, debido a que las características electromagnéticas del medio en un principio corresponden a las del medio contaminado. Al transcurrir el tiempo, las características cambian en relación con el cambio que experimenta la suspensión, finalmente los cambios cesan cuando el sistema llega al equilibrio, lo que se ve representado en los últimos 4 datos que tienden a estabilizarse.

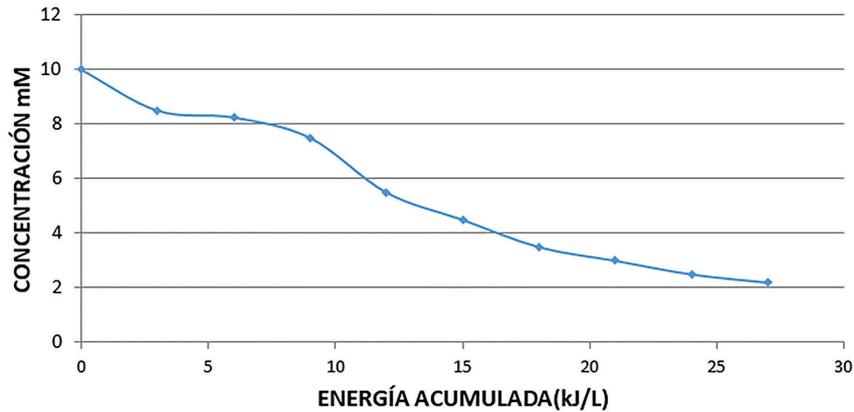


Figura 3. Variación de la concentración respecto a la energía acumulada.

Fuente: (Bandala et al 2)

La Figura 3 evidentemente presenta una disminución de la concentración del ácido oxálico con relación a la energía almacenada en la suspensión. El cambio de la concentración se presenta por la activación del semiconductor en la suspensión y los cambios que este ocasiona sobre la suspensión (mineralización). Para el modelo propuesto,

la suspensión con el semiconductor cambia y este cambio puede ser medido respecto a los cambios presentados sobre las variables electromagnéticas, lo cual se reflejará en la variación del factor de atenuación de la onda electromagnética. La figura 4 presenta dicha variación respecto a la energía calculada en la suspensión.

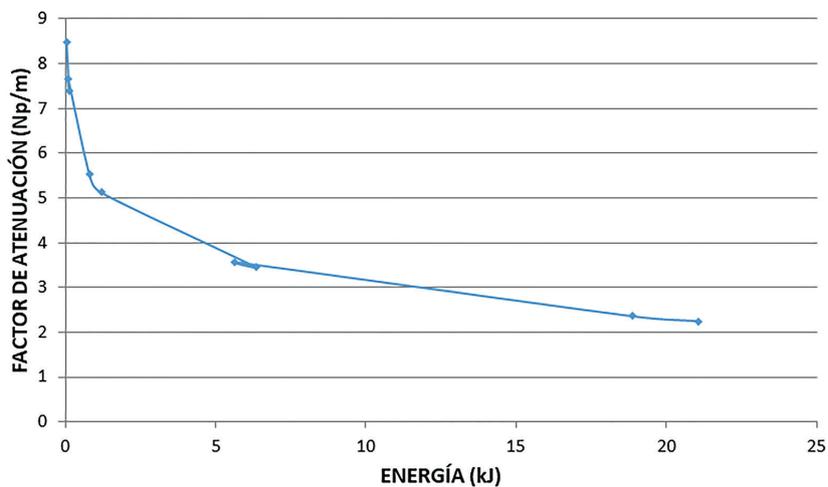


Figura 4. Variación del factor de atenuación de la onda electromagnética con respecto a la energía.

Las características electromagnéticas cumplen el papel de las características fisicoquímicas en los modelos de LVRPA, de tal manera que las tendencias de las gráficas

de la cinética de la concentración respecto a la energía acumulada y la gráfica de factores de atenuación respecto a la energía son similares, como lo refleja la Figura 5.

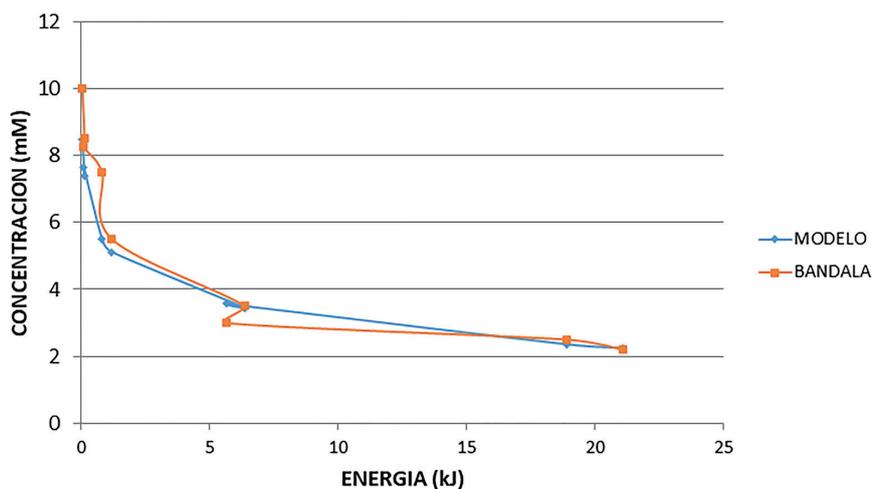


Figura 4. Comparación entre los datos reportados por Bandala *et al* [2] y el modelo propuesto.

El modelo propuesto hace énfasis en las características electromagnéticas, las cuales representan los cambios químicos de la suspensión, motivo por el cual las variaciones de las concentraciones químicas representarán variaciones de las características electromagnéticas de permitividad, conductividad y permeabilidad.

## Conclusiones

Al presentar este modelo para la absorción de fotones se realizó un cambio radical de enfoque. Las propiedades eléctricas y magnéticas del fluido, tales

como permeabilidad, permitividad y conductividad, asociadas al medio y la frecuencia de la radiación UV presentan una alternativa interesante de obtener la LVRPA, a todas luces importante en el moldeamiento de los fotoreactores. Existe una clara relación entre el factor de atenuación de la onda electromagnética con la concentración de ácido oxálico, lo que se ajusta con lo reportado por (Bandala *et. al* 2). El modelo desarrollado se contrastó con los datos reportados en la Figura 5, los que se ajustaron aproximadamente en un 85%, que representa un buen ajuste.

Las características electromagnéticas, claramente se relacionan con las

características químicas de la suspensión, para el caso reportado por (Bandala *et. al* 2) las características electromagnéticas se relacionan con la concentración de ácido oxálico. Dicho de otra forma, las características de permeabilidad, conductividad y permitividad reflejan las características químicas de concentración de la solución, es decir, se puede medir la concentración de ácido oxálico o medir las características electromagnéticas para obtener el factor de atenuación del medio.

Se presentó una tendencia evidentemente decreciente en el factor de atenuación obtenido mediante el modelo desarrollado, lo que se ajusta con lo esperado, ya que el medio al acuoso contaminado en su proceso de foto degradación deja de ser 'opaco' a la luz solar, motivo por el cual el factor de atenuación decrece. Debido a la acidez del medio, las láminas utilizadas para la toma de datos de permitividad eléctrica fueron parcialmente corroídas, al tiempo que emitieron al medio, iones que obviamente afectan la medida de la conductividad eléctrica y la permeabilidad magnética. Lo que claramente afecta la medición realizada.

En la naturaleza de la reacción, las características electromagnéticas cambian en forma permanente debido a los cambios sucesivos del medio contaminado. Con el modelo desarrollado se puede entonces predecir los cambios en el medio, conocidos algunos puntos para el factor de atenuación, lo que permite predecir el tiempo necesario para la foto degradación total.

El modelo propuesto, como una primera aproximación al problema, desestimó la dispersión y asumió que el medio era isotrópico (condición 3), lo que representa en la Ec. 1 que se pueda reducir a la Ec. 5, además toda la radiación incidente estaba en el espectro del UV, y no en el infrarrojo (el que se encarga de aumentar la temperatura del medio, cambiando así las características del mismo), es decir cambiando las características electromagnéticas del medio.

Las tomas de medidas de las características electromagnéticas, deberían llevarse a cabo permanentemente, ya que los dispositivos pueden estar inmersos en el sustrato. El ajuste del modelo con los datos reportados por (Bandala *et. al* 2) marcaron un error del 25%, lo que corresponde a los factores a continuación descritos:

- » Incorporar en el medio láminas de acero inoxidable, este desprende iones que entran a modificar el medio en las fronteras de los puntos donde se realiza la medida, para el caso de la medición de la permitividad magnética.
- » Para medir la conductividad, se sustrae parte del medio acuoso contaminado para incorporarlo en un recipiente diseñado para tal fin, motivo por el cual la característica de conductividad eléctrica corresponde a instantes antes del momento de la medida. Por lo anterior, la forma como debe medirse las características electromagnéticas del medio acuoso contaminado debe ser sin incorporar elementos que interfieran en la precisión de la medida.

## Referencias

- Bandala, R., Arancibia, C. A, Orozco S., L, Estrada, C. (2004). *Solar photoreactors comparison based on oxalic acid photocatalytic degradation*. *Solar Energy* 77. 503-512 p.
- Brucato, A., Rizzuti, L. (1997). *Simplified Modeling of Radiant Fields in Heterogeneous Photoreactors*. 1. Case of Zero Reflectance. *Ind. Eng. Chem. Res.* 1997, 36, 4740-4747 p.
- Brucatto, A., Cassano A., Grisafi F., Montante G., Rizzuti L., Vella G. (2006). Estimating Radiant Fields in Flat Heterogeneous Photoreactors by the Six-Flux Model, *Published on line september 15 in Wiley InterScience*. Recuperado de: [www.interscience.wiley.com](http://www.interscience.wiley.com).
- Colina, J., Machuca, F., Li G. (2010). *Radiation absorption and optimization of solar photocatalytic reactors for environmental applications*. Submitted to *Environmental Science & Technology*.
- Colina, J., Machuca F., Li G. (2010). *Radiation absorption and optimization of solar photocatalytic reactors for environmental applications*. *Environmental Science & Technology*.
- Colina, J., López, A., Machuca, F. (1992). *Modeling of direct solar radiation in a compound parabolic collector (CPC) with the ray tracing technique*. *Dyna*, year 77 Nro. 163, 132-140 p, ISSN 0012-7353. Medellín.
- Edminister, J. (1992). *Electromagnetismo*. McGraw Hill: USA. 181 p.
- Efimov, G., Kryzhevoi, V., Von, W., Wehrse, R. *Solution of the radiative transfer equation in the separable approximation*. *Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer* 94. 2005. 291-309 p.
- Gavrilovich, A., Radyno, N. (2006). Solution of the boundary-value problem for the equation of radiation transfer in a limited volume of a dispersion medium with a linear scattering indicatrix. *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*, Vol. 79, No. 2.
- Howell, J., Siegel, R. (1992). *Termal radiation heat transfer*. National Aeronautics and Space Administration- NASA. Washington.
- Martí, L., Bouza, J. Martínez, R., Hebden J. (2006). An investigation of the ability of modified radiative transfer equations to accommodate laws of geometrical optics. *Optics Communications* 266. 44-49 p.
- Peral, I. (1995). *Primer curso de ecuaciones diferenciales parciales*. Addison-Wesley. Universidad Autónoma de Madrid. España. 17 p.
- Shibanov, E. 2005. Numerical method for the solution of the equation of radiation transfer. Reflection and transmission coefficients for an optically thin plane-

- parallel layer. *Physical Oceanography*, Vol. 15, No. 3.
- Spiegel, M. (1959). Vector analysis. McGraw Hill: New York. 250-260 p.
- Tanaka T. (2005). A solution of radiative transfer in isotropic plane-parallel atmosphere by integrating Milne equation. *Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer* 95. 71-91p.
- Wangsness R. (1999). *Electromagnetic Fields*. Limusa S.A: Arizona. 434 p.



# Agricultura tecnificada, limpia y competitiva

Agriculture technified, clean and competitive

Ortiz, Jannet<sup>1</sup>; Suárez Devis<sup>2</sup>; Puentes, Addy Esperanza<sup>1</sup>; Marín, Olga<sup>2</sup>; Mejía, Adrianaz; Suárez, Maikel<sup>3</sup>; Gómez, César Augusto<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Cooperativa de Colombia. Facultad de Ingenierías

<sup>2</sup>Fundación Universitaria Agraria de Colombia- Uniagraria. Facultad de Ingenierías

<sup>3</sup>Instituto de Ciencia Animal – ICA. Departamento de Pastos y Forrajes. Cuba.

Fecha de recepción: diciembre de 2015 / Fecha de aceptación: abril de 2016

## Resumen

En la presente investigación se experimentó la automatización y control en invernaderos en los cuales se pueden observar variables como la temperatura, la humedad y la luminosidad. La automatización y control de cultivos permite el conocimiento exacto de variables medio ambientales, además de precisión y optimización de tratamiento a las cosechas, las cuales se transforman en beneficios para los agricultores, tanto en recursos como en calidad de la producción y prevención de enfermedades.

**Palabras Clave:** automatización, control, cultivos, semillas cultivadas y aplicabilidad de la ingeniería.

## Abstract

In this research is automation and control experiment in greenhouses in which you can see variables such as temperature, humidity and light. Automation and control of crops allows the accurate knowledge of environmental variables besides the accuracy and the optimization of crop treatments, which are transformed into benefits for farmers both in resources and production quality and disease prevention.

**Keywords:** automation, control, crop, cultivated seeds and engineering applicability.

## Introducción

Muchos países utilizan cantidades representativas de sus superficies para actividades de agricultura y la ganadería. En Colombia esta superficie equivale a 420000 km<sup>2</sup>, aproximadamente y si se considera que la agricultura representa la mayor proporción de uso de la tierra por el hombre, se logra observar que dicha actividad hace un aporte significativo a la problemática ambiental que se desarrolla en el país.

Las tendencias actuales de la agricultura, estimulan la generación de problemas ambientales dentro de los cuales se pueden mencionar la contaminación, debido al uso de fosfatos, nitratos y plaguicidas. Adicionalmente, la actividad agrícola es fuente antropogénica de gases efecto invernadero como el metano y el óxido nitroso que favorecen en gran parte a la contaminación del aire y agua, constituyéndose en una de las causas de pérdida de biodiversidad en todo el mundo.

Además de lo previamente expuesto, el uso irracional de las tierras en otros tipos de cultivos, ya sean lícitos como el caso de los cultivos para la producción de biodiesel o ilícitos como las sustancias psicoactivas, afectan la base de su propio futuro, a través de la degradación de la tierra y la producción sostenible.

Lo anterior motiva la búsqueda de nuevos métodos o tecnologías de cultivo que pueden cumplir el papel de ser complemento trascendental para la germinación de

semillas cultivadas. Esto es relevante para lograr la eficacia y eficiencia de las siembras, convirtiéndose en un factor importante en el momento de buenos rendimientos agrícolas. Así mismo, pueden ejercer una función significativa en el almacenamiento de carbono en los suelos, mejoramiento en la filtración del agua y conservación de los paisajes rurales y la biodiversidad.

Por estas razones, el propósito de este estudio fue la creación y monitoreo de un ambiente controlado para la germinación de semillas de maíz, entre las que se encuentran variables como la temperatura, la humedad y la luminosidad, y como valor agregado se expusieron las semillas a campos electromagnéticos, eléctricos y magnéticos. La siembra se realizó en alvéolos de 100 cm<sup>3</sup>, utilizando fibra de coco previamente desinfectada y humedecida como sustrato. Las bandejas de plantulación se pusieron en cámara de crecimiento a una intensidad luminosa de 3.000 lux, con ciclos de luz de 12h a una temperatura de 23° C.

Esta técnica de automatización y control de los cultivos en invernaderos permitió el conocimiento exacto y preciso de las variables de tiempo, humedad y luminosidad las cuales admiten obtener cultivos con mayores beneficios en:

- » Mejora de calidad de la producción, al permitir controlar la cantidad de riego hídrico por planta.
- » Reducir la contaminación por efectos del medio ambiente, al permitir limitar la luminosidad excesiva.

- » Mejora la prevención de enfermedades de las semillas, al permitir controlar de forma precisa los parámetros que inciden en la propagación de enfermedades.
- » Optimizar los recursos, permitiendo aplicar estrategias específicas para cada tipo de suelo (gestión eficaz del riego).
- » Cultivar fuera de época, lo que permite al productor obtener más de una cosecha por ciclo de cultivo.

La metodología del proyecto se desarrolla en la lógica del control y automatización de variables en ambientes controlados, permitiendo el desarrollo satisfactorio y en menor tiempo, además de un alto índice de productividad en los ciclos de cosechas. La elaboración del proyecto se realiza en condiciones controladas y bajo la temática de exposición de las semillas a estímulos de campos eléctricos, magnéticos y electromagnéticos como potenciador de poder germinativo, vigor y energía germinativa de las semillas de plantas cultivadas, posibilitando el éxito de un cultivo en su ciclo agronómico. La creación de un invernadero que no es más que una estructura cerrada cubierta por materiales transparentes, dentro del cual es posible obtener condiciones artificiales del clima, lo que conlleva a cultivar semillas fuera de estaciones en condiciones óptimas y de mayor productividad.

## Materiales y métodos

La realización del experimento se llevó a cabo con lotes de semillas de maíz (*Zea*

*mays* L.) ICA – V – 508, con un porcentaje de germinación de 92 %, suministradas por la empresa Semicol.

La exposición de las semillas a los diferentes campos fue permanente durante 15 días, empleando como testigo semillas sin exponer. La siembra se realizó en alvéolos de 100 cm<sup>3</sup> con fibra de coco previamente desinfectada y humedecida como sustrato. Se empleó un diseño completamente aleatorizado con disposición factorial con tres réplicas por tratamiento y 128 semillas por réplica.

Durante el proceso de germinación, las bandejas se pusieron en una cámara de crecimiento semicontrolada a una intensidad luminosa de 3.000 lux, con ciclos de luz de 12h a una temperatura de 23° C. Se realizó un cuadro comparativo de crecimiento raíz y coleóptilos determinado en cm, se evaluó el porcentaje de germinación al séptimo, octavo y noveno día después de la siembra, así como la acumulación de masa fresca y biomasa al vigésimo día. Se estableció la curva comparativa de crecimiento de cada uno de los tratamientos. Se realizó la medida de la absorbancia en solución para determinar el contenido de clorofilas. Para ello se puso un 1g de hojas frescas de *Zea mays* L. proveniente de cada uno de los tratamientos por independiente, cortada en trozos pequeños, se agregó arena y 15ml de acetona para facilitar la maceración y extracción de los pigmentos. Se agregaron a la pulpa sobrante otros 10ml de acetona y se maceró nuevamente, después se filtró. En seguida se aforó a 25 ml acetona en matraz aforado. Después se leyó la absorbancia a 645, 652 y 663 nm. El cálculo para determinar

el contenido de clorofilas se empleó usando el método de (Jeffrey & Humphrey, 1975) modificado.

Se realizó un análisis de varianza completamente aleatorizado de clasificación simple con disposición factorial, tomando como efectos las del tipo de campo inducido y el tiempo de exposición. Todos los análisis estadísticos se realizaron con el paquete Statistic for Windows (StatSoft, Inc., 1993).

## Resultado y discusión

Las variables estudiadas fueron el porcentaje de germinación, dinámica de crecimiento de raíz y coleóptilos; acumulación de masa fresca y biomasa seca y contenido de clorofilas a, b y totales. Una vez realizado el estudio, los mejores resultados se obtuvieron en las semillas tratadas con campos electromagnéticos, observando que se duplicaban los valores de la mayoría de los indicadores en estudio, siendo más evidentes los contenidos de clorofilas.

### Influencia de los campos

Los efectos de los diferentes campos en los parámetros del modelo fueron claramente

evidentes, los estudios mostraron efectos sobre la morfología de las plantas cuyas semillas fueron sometidas a campos electromagnéticos. A continuación, se evalúan parámetros morfo-fisiológicos que permiten evidenciar los efectos ocasionados por cada tratamiento, especialmente por el campo electromagnético.

Los efectos significativos desde el inicio, se observan en el tratamiento expuesto a los campos electromagnéticos tanto para raíz y coleóptilos de las semillas cultivadas.

### Poder Germinativo

Como se puede apreciar en la Figura 3, bajo condiciones semicontroladas, al séptimo día de sembradas, ya se había superado el 50% de germinación de las semillas expuestas al campo electromagnético, mientras que los demás tratamientos mantuvieron una conducta menor del 50% hasta el mismo día. Para el día octavo, las semillas tratadas con campo electromagnético aumentó a un valor muy cercano al 71.87%. En todos los momentos evaluados, los mayores valores de germinación se presentaron en aquellas semillas tratadas con campos electromagnéticos, al parecer por eliminación de la dormancia seminal de embriones que se encontraban latentes.



Figura 1. Ciclo germinativo

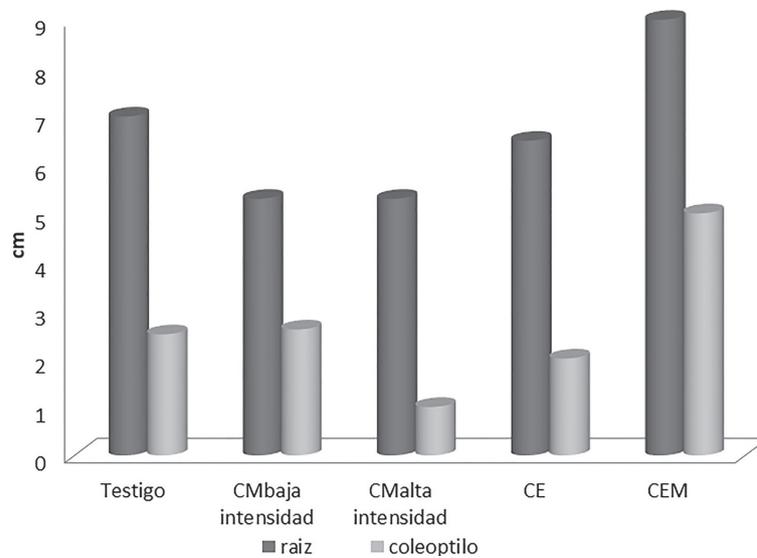
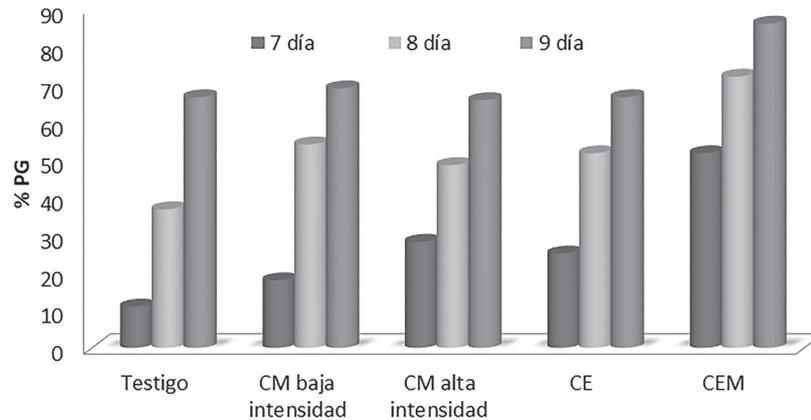


Figura 2. Comparativo de crecimiento raíz y coleótilos en maíz

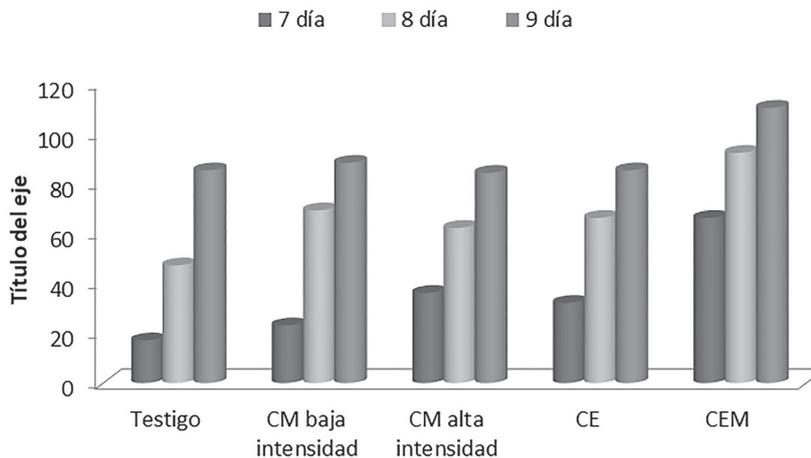


**Figura 3.** Poder germinativo de las semillas de *Zea mays* L. sometidas a campos magnéticos de baja y alta densidad, campo eléctrico y campo electromagnético.

### Dinámica de crecimiento

Las semillas expuestas a los campos electromagnéticos superan el rango de crecimiento de los demás tratamientos

comparados en los mismos días. Este fenómeno permite concluir que las semillas reciben más estímulo en este tratamiento, lo que genera una curva de crecimiento más representativa, en el mismo rango de días observados.



**Figura 4.** Dinámica de crecimiento (*Zea mays* L.).

## Biomasa

Como aparece reflejado en la Figura 5, un incremento en la formación de masa fresca se traduce en acumulación de biomasa seca. Las plantas que alcanzaron los valores más altos para este indicador resultaron ser

las tratadas con el campo electromagnético. Si las plántulas expresan un mayor crecimiento vegetativo, todo parece indicar que la acumulación de biomasa seca se incrementará también en el tiempo. Para este indicador fisiológico se observó que los menores valores se expresaron en el testigo, tanto en masa fresca como en biomasa seca.

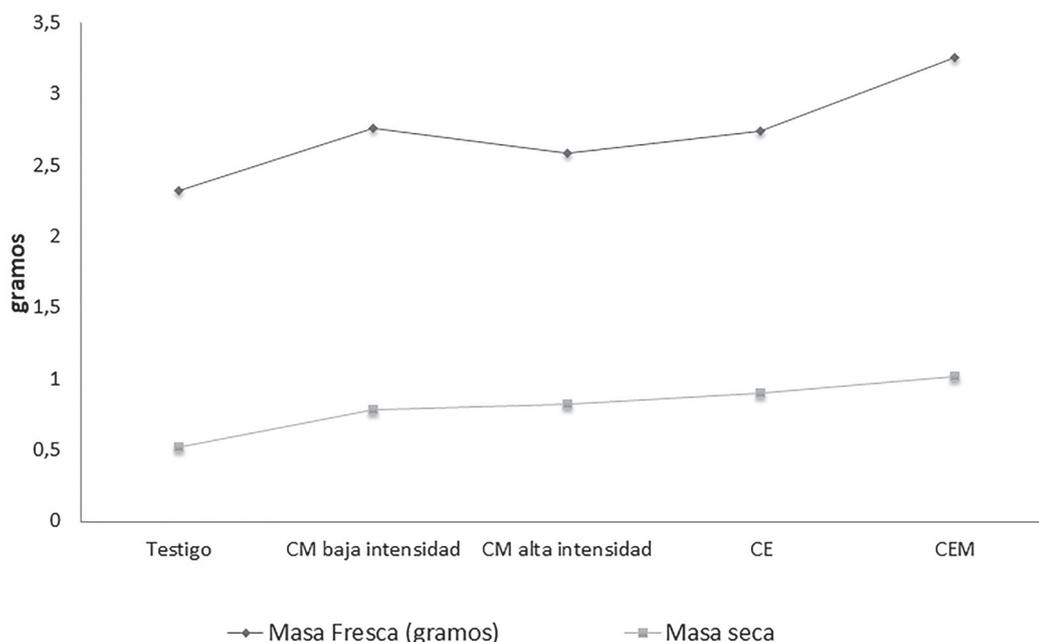


Figura 5. Acumulación de masa y Biomasa promedio (grs)

## Referencias

Acuña, F. Grupo de investigación en tecnología de invernaderos y experiencias. (2008) Trabajo de Proyecto Final de Pregrado (Ingeniería Electrónica). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería. 220 p.

Alfonso, Ana. (2009). *La crisis alimentaria mundial*. Mid, un lugar para la ciencia y la tecnología.

Arboleda, Á., Cortes, O. (2007). *Sistema de instrumentación para invernadero Armenia*, formato IEEE. Trabajo de Proyecto Final (Tecnología en Electrónica). Universidad del

- Quindío. Facultad de Ingeniería Electrónica. 7 p.
- Atorino, J., Bortolin, L. (2009). *Experimentos con un sensor de efecto Hall*. Departamento de Física. Facultad de Ingeniería y Ciencias Exactas y Naturales Universidad Favaloro. 6 p.
- Ayala, E., Guayacundo, D., Rodríguez, A. (2005). Sistema de Control PID Análogo y Digital para un invernadero. *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada Dos*.
- Bethencourt, J., Luna, M. P., Muñoz-, J. L., García, B. (2012). Sistemas para la Automatización de los Invernaderos. *Vida Rural*, No. 118. 66–70 p.
- Carrillo, D. (2008). *Control climático de un invernadero Zacatecas*. (Trabajo de Proyecto Final de Pregrado, Ingeniería Electrónica). Universidad Autónoma de Zacatecas. 15 p.
- Corpoica. (SF). Impulsa Investigación en Ambientes Controlados.
- Duncan, Ian. (2001) The Pros and Cons of Cages. *World's Poultry Science Journal*. No 57. 381–390 p.
- Egüez, G & Váscquez, J. (2007). Automatización del galpón de crianza avícola a – 1 de pollos broilers del iasa fase i: diseño, simulación y construcción prototipo. Escuela politécnica del ejército.
- Engormix.com. Control ambiental en galpones de pollos.
- Fraga, N., Socorro, A., Calderón, S., Cantero, N., De La Cruz, J.F., Alonso, M. y Figueroa, M. (2007). *Estudio de parámetros adecuados para la conservación y estimulación de la germinación en semillas de frijol común (Phaseolus vulgaris L)*. *Agrotécnica de Cuba* 31(2): 12-18 p.
- Galland, P. & Pazur, A. (2005). Magnetoreception in plants. *Journal of Plant. Research* 118:371-389 p.
- Grupo del Banco Mundial. (2012). *Alerta sobre precio de los alimentos*. Ed. Banco Mundial.
- Guzmán, B., Rodríguez, L. (SF) *Laboratorio remoto para el control de una maqueta de invernadero*.
- Katsuhiko, O. (1996). *Sistemas de Control en Tiempo Discreto*. México D.F: Prentice Hall.
- Madge, E (2009). *Invernadero inteligente para clima cálido*. Tesis Pregrado de Ingeniería Electrónica). Universidad América Asunción. Facultad de Ingeniería Electrónica. Asunción, Paraguay. 42p.
- Medina J., Himeur Y., Romero J. L., Zúñiga C. y Alvarado L. (2008). *Manual de operación y mantenimiento de un Sistema de riego por goteo*.
- Ministerio de Protección Social. Reporte diario ola invernal 2010-2011. 2p.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura. (2010) *El estado de la*

- inseguridad alimentaria en el mundo*. Roma, Italia: Viale delle Terme di Caracalla.
- Ortiz J., Puentes A. E., Suárez D., Velásquez, P., Gutiérrez J. (2013) *Efectos en la germinación, crecimiento y desarrollo de semillas de plantas cultivadas sometidas a estímulos por Campos Magnéticos (CM), Eléctricos (CE) y Electromagnéticos (CEM) en Sibaté, Cundinamarca*. Universidad Cooperativa de Colombia.
- Padovani, L. (2007) *Automatización y control de invernadero Quilmes*. (Trabajo de Proyecto Final de Pregrado. Ingeniería Automatización y Control Industrial). Universidad Nacional de Quilmes, Facultad de Ingeniería. [en línea]. 73 p.
- Pawlowski, Guzmán, Rodríguez, Berenguel. (2010). *Control Basado en Eventos de la Temperatura de un Invernadero*. UNED: Madrid.
- Pietruszewski, S., Muszyński, S. y Dziwulska, A. (2007) *Electromagnetic Fields and Electromagnetic Radiation as Non-invasive External Stimulants for Seeds (selected Methods and Responses)*. International Agrophysics 21, no. 1. 95 p.
- Ramírez, S. (2012) *Automatización de Invernaderos*. Investigación CSS (Capítulo Estudiantil Sistemas de Control IEEE). Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Restrepo, J. (2010). Una política integral de tierras para Colombia. Ministerio de Agricultura y Desarrollo rural. 23p.
- Sensirion, Datasheet SHT1x. (2010). Technology for Life. *Invernaderos de Futuro*. España.
- Toledom, S. (2007). *Diseño de Controladores PID en Tiempo Discreto y análisis de respuesta utilizando herramientas computacionales*. Universidad de San Carlos, Guatemala.
- Tordecilla, L. (2009). *Fortalecimiento de la capacidad de investigación en ambientes controlados* Cereté, 72p. Corpoica.
- Torres, C., Díaz, J., Cabal, P. (2008). *Efecto de campos magnéticos en la germinación de semillas de arroz (Oryza sativa L.) y tomate (Solanum lycopersicum L.)* Universidad del Valle.
- Yao, L., Li, Y., Yang, Y. y Li, C. (2005). *Effects of Seed pretreatment by magnetic field on the sensitivity of cucumber (Cucumis sativus) seedlings to ultraviolet-B Radiation* Environmental and Experimental Botany 54(3): 286-294 p.
- Zapata, J. E., Hoyos, M., Moreno, G. (2005). *Acción de un campo magnético sobre un cultivo aireado de Saccharomyces cerevisiae*. Asociación Interciencias. 6 p.
- Zapata, C. A. y Martínez A. (2007). *Sistema inalámbrico para la supervisión de las variables ambientales de un invernadero*. IEEE. (Trabajo de Proyecto Final. ingeniería Electrónica). Universidad del Quindío.



# Propuesta para el manejo nutricional en Palma de cera (*Ceroxylon quindiuense wendl.*) bajo condición de crecimiento en malla vial de alto flujo vehicular

Proposal for nutritional management in Palma of cera (*Ceroxylon quindiuense wendl.*) low growth condition in vehicular high flow vehicle mesh

Suárez, Deivis<sup>1</sup>; Mejía, Adriana<sup>1</sup>; Marín, Olga<sup>1</sup>; Agudelo, Luz Dary<sup>2</sup>; Suárez Maikel<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Fundación Universitaria Agraria de Colombia- Uniagraria.

<sup>2</sup>Jardín Botánico de Bogotá “José Celestino Mutis”.

<sup>3</sup>Instituto de Ciencia Animal, Cuba

Fecha de recepción: noviembre de 2015 / Fecha de aceptación: marzo de 2016

## Resumen

La Palma de cera (*Ceroxylon quindiuense wendl.*) perteneciente a la familia Arecaceae presenta aspectos particulares en su morfología, lo que dificulta el análisis de patrones morfométricos de crecimiento. Los fertilizantes no sintéticos (FNS) presentan un gran potencial para aumentar la competitividad de las plantas forestales para una variedad de sitios de reforestación, que incluyen desde lugares a campo abierto, hasta avenidas en grandes ciudades. Sin embargo, normalmente existe un pobre conocimiento sobre ellos. Con el fin de usar los FNS en forma exitosa se debe considerar su formulación y sus efectos sobre variables de crecimiento, partiendo de la acumulación de biomasa en el tiempo (Incremento de Biomasa en el Tiempo *IBT*, Tasa de Crecimiento Relativo *TCR* y Eficiencia Energética). Para ello se determina la biomasa seca en dos momentos, al inicio y al final del periodo de estudio. Este trabajo sintetiza la evaluación de tres dosis de materia orgánica y diversas investigaciones asociadas a su utilización. Se pone de manifiesto una diferencia en cuanto a la masa fresca y seca entre los diferentes tratamientos y el testigo mostrando; además se puede apreciar que el contenido de humedad en los tejidos vegetales de esta especie no supera el 50%. Se evidenció una mayor *TCR* en la dosis uno de materia orgánica. En cuanto la eficiencia energética, con el mismo tratamiento se evidenció lo mismo, pero solo en las plantas de la calle 170.

**Palabras Clave:** fertilización, morfometría y crecimiento vegetal.

## Abstract

The Palma of Cera (*Ceroxylon quindiuense Wendl.*) belongs to the family Arecaceae presents particular aspects in morphology, making it difficult morphometric analysis of growth patterns. Non-synthetic fertilizers (FNS) have a great potential to increase the competitiveness of forest plants for a variety of reforestation sites, ranging from places to open up avenues field in large cities. However, there is usually a poor knowledge about them. In order to use the FNS successfully should be considered its formulation and its effects on growth variables based on biomass accumulation over time (increase in biomass in the *IBT* Time, *RGR* *TCR* and Energy Efficiency) to it determines the dry biomass of two times, at the beginning and end of the study period. This paper summarizes the evaluation of three doses of organic matter and various research associated with its use. It reveals a difference in terms of fresh and dry mass between the different treatments and the witness showing; also it can be seen that the moisture content in plant tissues of this species does not exceed 50%. A higher rate of relative growth was evidenced in the dose one of Organic Matter and Energy Efficiency regarding the same treatment only in plants 170th Street.

**Keywords:** fertilization, morphometry and plant growth.

## Introducción

La temperatura, la humedad y la fertilidad son tres factores esenciales del ambiente y del hábitat que determinan el crecimiento de los árboles en los montes. Existen también otros factores, pero estos son los tres principales. Los forestales, tradicionalmente, han considerado que todos estos factores sólo están sujetos, en el mejor de los casos, a un control muy débil y principalmente indirecto. La naturaleza y magnitud de su influencia, por supuesto, han sido reconocidos desde hace mucho tiempo como controlables hasta cierto grado, mediante manipulaciones silvícolas, capaces de modificar la densidad, la estructura o la composición de las masas (Schenck, 1966).

Recientemente, las relaciones suelo-agua-planta se contemplan de un modo mucho más dinámico, como un sistema más unificado en el que todos los procesos son interdependientes, y denominado el continuo suelo-planta-atmósfera. En este continuo, la disponibilidad de agua en el suelo no sólo es función de este, sino del conjunto suelo-planta-clima (Cadahia, 1998).

Al respecto, (Honorato, 2000) señala que cuando la fertilidad del suelo es una limitante se debe recurrir a la fertilización. La disponibilidad de nutrientes permitirá un rápido desarrollo radicular, dando ventajas a las plantas que pueden manifestarse a lo largo de toda una rotación.

Entender la interrelación y problemática entre desarrollo y medio ambiente, en la

opinión de (Sánchez, 1996) implica entender el desarrollo sostenible, un nuevo concepto en el contexto mundial, que surge como una necesidad de enmarcar en un concepto una nueva forma de entender y mirar el desarrollo. Concepto que expresa una confrontación política. En 1980, la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) presentó un concepto de desarrollo sostenible fundamentado en la necesidad de la conservación de lo natural, sin proponer la revisión del estilo de desarrollo dominante.

## Materiales y métodos

### Material vegetal

La especie vegetal a evaluar es la *Ceroxylon quindiuense* Wendl., por ser considerado el árbol nacional y poseer poco estudio sobre su manejo. Para ello se trabajará con una muestra de 12 palmeras en estado juvenil.

### Ubicación en tiempo y espacio

Las plantas a evaluar se encuentran situadas sobre la malla vial del Distrito Capital, específicamente en la Calle 170 con Autopista Norte, Lat. 4°45'8,03" N y Lon. 74°2'58,19" O y Lat. 4°45'14,39" N y Lon. 74°03'27,77" O, respectivamente y B. Avenida. Kra 68 Lat. 4°40'02,60" N y Lon. 74°05'33,61" O y Cll 63 Lat. 4°40'00,60" N y Lon. 74°05'40,17" O (Ver Figura 1).



**Figura 1.** Mapa de ubicación de las vías en las que se encuentran las especies objeto de estudio (A. Cll. 170; B. Av. 68).

Fuente: Image © Digital Glove. 2013 Google Earth.

## Diseño experimental

Se empleó un diseño  $1 \times 3 \times 3$ , uno (1) es el separador vial, tres (3) las plantas y tres (3) los anchos de bandas a utilizar según el tratamiento y distribución espacial propuesta en la Figura 2.

## Tratamientos

- »  $T_1$ ,  $T_2$  y  $T_3$ : Testigo. Se toman 3 plantas distribuidas a lo largo del separador e intercaladas con los tratamientos restantes.

- »  $MO_1$ ,  $MO_2$  y  $MO_3$ : Sustrato con materia orgánica. Tres dosis de 3, 7 y 10 lb por planta. Se deja madurar con el empleo

de melaza por 7 días y se realizan tres réplicas por cada dosis.

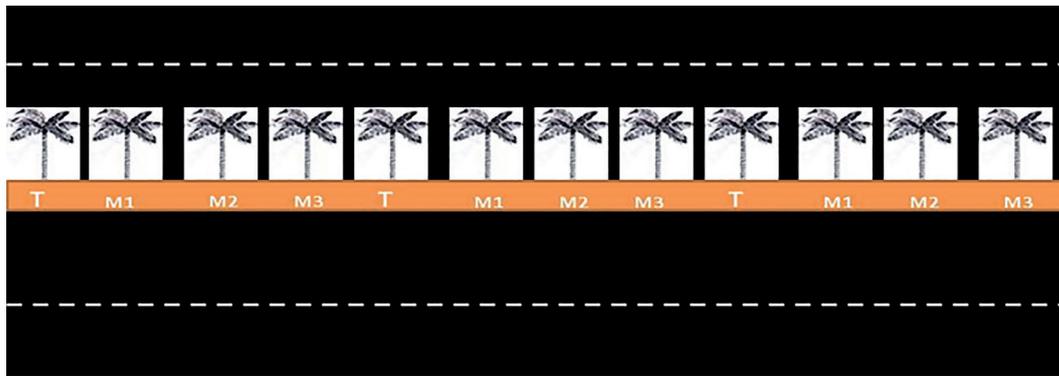


Figura 2. Distribución espacial en el corredor vial.

## Variables a analizar

**Variables de crecimiento:** Por presentar un ciclo fenológico muy lento, se hace difícil el trabajo sobre la arquitectura progresiva de la planta, por lo que se determinará la biomasa (factor que caracteriza el crecimiento a partir de la acumulación de masa seca), aplicando el método destructivo citado por (Vázquez & Torres, 2006) en su texto “Fisiología Vegetal”:

Se determinará:

- » Incremento de Biomasa en el Tiempo (IBT): Representa la eficiencia en la producción de biomasa seca por unidad de superficie y estará dada por el cociente entre  $\Delta W$  y el producto de  $A$  con  $\Delta t$ , donde  $\Delta W$  es la variación de biomasa seca,  $A$  es el espacio vital de cada planta y  $\Delta t$ , el espacio de tiempo

transcurrido entre dos tomas de datos sucesivas.

- » Tasa de crecimiento relativa (TCR): da la medida de biomasa que se incrementa a partir de la ya existente y establece la relación entre dos veces  $\Delta W$  y el producto de  $\sum W$  por  $\Delta t$ .
- » Eficiencia Energética (EE): Nos indica cuán eficiente es una planta en el uso de la radiación solar. Esta se expresa porcentualmente y establece la relación entre TCR y la radiación total. Este último valor será tomado de reportes del Ideam.

## Momentos de evaluación

Por las características de crecimiento que presentan estas plantas (crecimiento lento) se realizarán mediciones en 6 momentos

con frecuencia quincenal sobre aspectos de carácter cualitativos como son:

- » Estado fitosanitario de la palmera que será bueno, regular, malo y muerta, adicionando posible agente causal.
- » Estado fisiológico de la palmera respecto al follaje: 0%, 50% y 100%.

## Análisis de datos

Todos los datos registrados se incorporarán a una matriz en Microsoft Excel. Para su análisis y comparación se empleará un Anova simple por trabajar con plantas que poseen un comportamiento diferencial, según condiciones microclimáticas y de existir diferencias significativa entre las medias, se realiza una prueba de rangos múltiples.

## Resultados y discusión

### Evaluación cualitativa

Al realizar la selección y marcado de las palmeras para el montaje y evaluación en el proceso de investigación se pudo detectar la presencia, en la mayoría de las plantas, de un mal manejo agrotécnico en estas (Ver Figura 3), lo que se manifiesta como plantas mal nutridas y con hojas maltratadas por el viento, así como depósito sobre la lámina foliar del material particulado. Esto se hizo más evidente en aquellas plantas objeto de estudio que se encuentran en la Calle 170, pues las que estaban en la Avenida 68 son plantas de menor tamaño que no superan el 1,5 m de altura, por lo que los vientos ejercen menor incidencia sobre ellas.



**Figura 3.** Hojas de Palma de cera con presencia de material particulado.

En cuanto a presencia de plagas, no se detectó ningún insecto ni daños prominentes de origen biótico que puedan estar afectando el desarrollo del cultivo.

## Variables de crecimiento

La demanda nutrimental de un cultivo está en función de la producción de biomasa y la distribución de la materia seca entre los diferentes órganos de la planta, lo cual juega un papel fundamental en la producción (Peil & Gálvez, 2005). De acuerdo con (Landis, 1989) existe una relación característica entre la concentración de un ion nutriente en el tejido de la planta y su crecimiento. (Rincón et al, 1995) señalaron

que, la concentración de estos elementos en las plantas obedece a diversos factores, entre los que podemos mencionar, las condiciones del medio donde se desarrolla la planta, la época del año y la tecnología de producción, incluso existen variaciones de una especie a otra.

A pesar de los estudios realizados para optimizar la fertilización, en Chile habanero existen pocos trabajos que determinen la acumulación de nitrógeno en sus diferentes órganos de la planta (Martínez, et al, 2006). La mayoría de los trabajos de nutrición se han enfocado a la aplicación y manejo de fertilizantes, la interacción entre el riego y los abonos orgánicos y los efectos de los abonos orgánicos sobre el rendimiento (Dzib & Uribe, 2006).

**Tabla 1.** Determinación de biomasa en Palma de cera

TRAT.	Corredor vial Calle 170								EE TRANSF. (x 0,00001)
	MOMENTO		MOMENTO		$\Delta W$	IBT	TCR	EE	
	1	2	1	2					
T <sub>1</sub>	53	36	47	28	-8	-0,017	-0,0021	-6,3131E-06	-0,063
T <sub>2</sub>	49	32	52	23	-9	-0,019	-0,0027	-8,2645E-06	-0,083
T <sub>3</sub>	91	52	84	45	-7	-0,015	-0,0012	-3,6447E-06	-0,036
MO 1.1	89	51	91	62	11	0,023	0,0016	4,9164E-06	0,049
MO 2.1	59	37	74	65	28	0,058	0,0046	1,3864E-05	0,139
MO 3.1	77	58	95	79	21	0,044	0,0026	7,7417E-06	0,077
MO 1.2	52	32	48	37	5	0,010	0,0012	3,6598E-06	0,037
MO 2.2	52	33	72	51	18	0,038	0,0036	1,0823E-05	0,108
MO 3.2	97	55	63	42	-13	-0,027	-0,0022	-6,7687E-06	-0,068
MO 1.3	94	52	64	39	-13	-0,027	-0,0024	-7,215E-06	-0,072
MO 2.3	97	55	84	67	12	0,025	0,0016	4,9677E-06	0,050
MO 3.3	98	50	79	56	6	0,013	0,0009	2,8588E-06	0,029

Continuación Tabla 1. Determinación de biomasa en Palma de cera

Corredor Avenida, Carrera 68									
TRAT.	MOMENTO		MOMENTO		$\Delta W$	IBT	TCR	EE	EE TRANSF. (x 0,00001)
	1	2	1	2					
T1	25,5	15,1	29	21,6	6,5	0,014	0,0030	8,945E-06	0,089
T2	27,09	16,8	28,2	19,7	2,9	0,006	0,0013	4,0127E-06	0,040
T3	67,67	32,9	56,5	39,5	6,6	0,014	0,0015	4,6041E-06	0,046
MO 1.1	34,39	20,06	40,1	22,7	2,64	0,006	0,0010	3,1182E-06	0,031
MO 2.1	69,25	36,3	52,6	40,01	3,71	0,008	0,0008	2,4554E-06	0,025
MO 3.1	54,12	27,8	51,8	38,5	10,7	0,022	0,0027	8,1509E-06	0,082
MO 1.2	38,1	22,7	42,7	29,1	6,4	0,013	0,0021	6,24E-06	0,062
MO 2.2	47,77	27,1	56,9	32,6	5,5	0,011	0,0015	4,6529E-06	0,047
MO 3.2	54,09	32,6	47,2	28,4	-4,2	-0,009	-0,0011	-3,4774E-06	-0,035
MO 1.3	42,28	23,4	39,5	21,6	-1,8	-0,004	-0,0007	-2,0202E-06	-0,020
MO 2.3	49,18	29,2	56,17	37,7	8,5	0,018	0,0021	6,4169E-06	0,064
MO 3.3	48,1	28,2	56,2	39,3	11,1	0,023	0,0027	8,3053E-06	0,083

Como base para el análisis del crecimiento, tomando como punto de partida la biomasa seca, se realizó la determinación de masa fresca y seca en el inicio y final del proceso, así como la variación de peso (Ver Figura 4), la demanda nutrimental de un cultivo está en función de la producción de biomasa y la distribución de la materia seca entre los diferentes órganos de la planta, lo cual juega un papel fundamental en la producción (Peil & Gálvez, 2005). De acuerdo con (Landis, 1989) existe una relación característica entre la concentración de un ion nutriente en el tejido de la planta y su crecimiento.

Rincón *et al.*, (1995) señalaron que la concentración de estos elementos en las plantas obedece a diversos factores, entre los que podemos mencionar; las

condiciones del medio donde se desarrolla la planta, la época del año y la tecnología de producción, incluso existen variaciones de una especie a otra.

La Tabla 1 deja evidencias de una masa fresca desigual por cada uno de los tratamientos, lo que se traduce en una desigual acumulación de masa seca. Cabe destacar que la pérdida de peso no supera el 50% en ninguno de los casos. Se hace necesario señalar que la Palma de cera es endémica de los bosques andinos y sufre cambios microclimáticos radicales en dependencia de la velocidad de crecimiento y del dosel en el que se encuentra.

Son las TCR las que mostraron los mejores resultados para los diferentes tratamientos,

siendo la dosis 1 de materia orgánica aplicada, la que permitió obtener los mejores resultados, tanto en las plantas de la Calle 170 (adultas) como en las de la Avenida 68 (estado juvenil), dejando en evidencia una mayor acumulación en las más jóvenes, es decir en las de la Avenida 68. Es esta dosis de M.O. la única que presenta diferencias significativas con respecto al testigo.

Contrario a lo encontrado en TCR, se pudo apreciar en lo referente a EE, donde las

plantas que presentaron una mayor TCR no muestran diferencias significativas con respecto al testigo. En este caso, son las plantas de la Calle 170 las que muestran una mayor EE, siendo igualmente las plantas tratadas con la Dosis 1 (MO<sub>1</sub>) las únicas que difieren significativamente respecto al testigo.

La Figura 4 da una medida de cuán favorables resultaron los tratamientos empleados en cada una de las ubicaciones señaladas en la metodología.

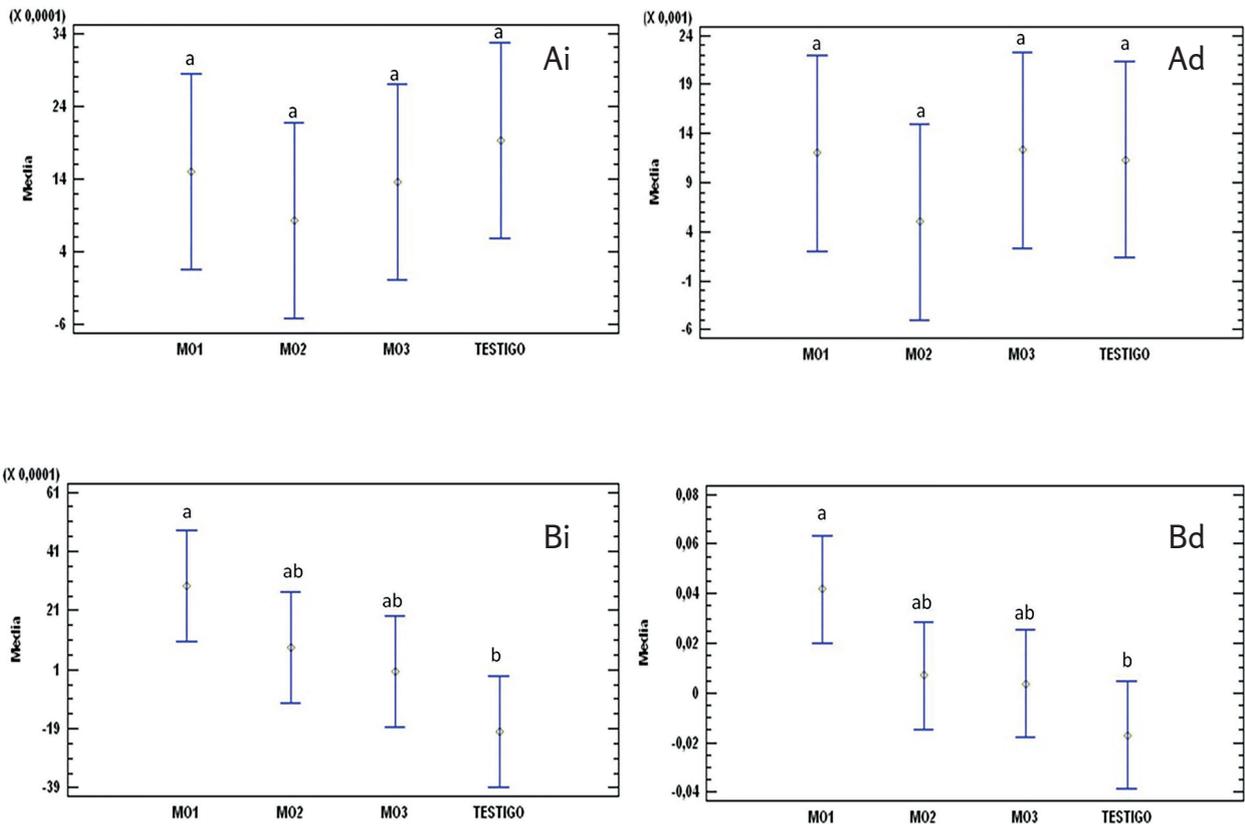
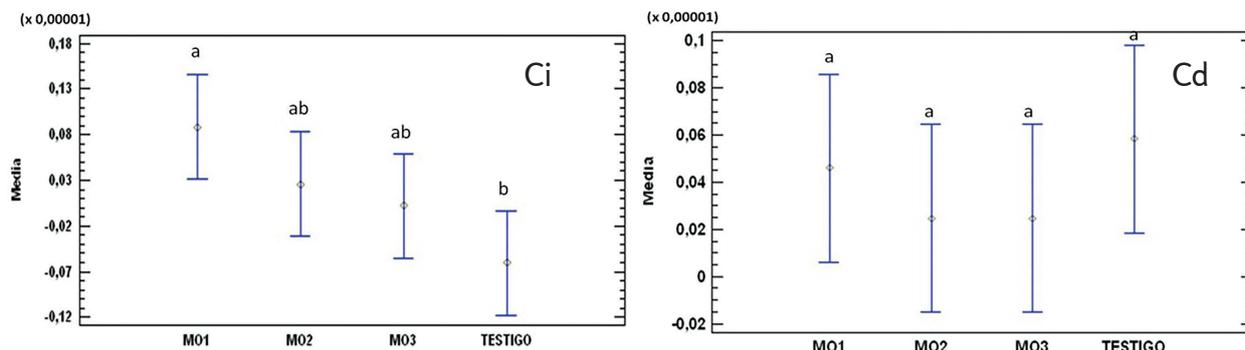


Figura 4. Variables fisiológicas calculadas a partir de la biomasa. (Ai, IBT Cll 170; Ad, IBT Av. 68; Bi, TCR Cll 170; Bd, TCR Av. 68; Ci, EE Calle 170 y Avenida 68)



Continuación Figura 4. Variables fisiológicas calculadas a partir de la biomasa. (Ai, IBT Cll 170; Ad, IBT Av. 68; Bi, TCR Cll 170; Bd, TCR Av. 68; Ci, EE Calle 170 y Avenida 68)

Para determinar los niveles de significancia se empleó la Prueba de Rangos Múltiples que se basa en las Diferencias Mínimas significativas (LSD) de Fisher con un  $p=0,05$ .

En muchos países, especialmente de Europa, existe la tendencia a la aplicación de SH comerciales enriquecidas con otros componentes que pueden ser minerales (macro ó microelementos) y aminoácidos libres que son incorporados por el fuerte impacto metabólico que realizan en el metabolismo vegetal (Ligñan, 2000; citado por Lersel y Nemali, 2004). Con relación a este último, la síntesis de aminoácidos es costosa para las plantas con relación al requerimiento energético que precisa. Este gasto de energía es especialmente importante en momentos en los cuales la fisiología de la planta no es óptima, como puede ser en el caso de golpes de calor o frío, enfermedades o estrés hídrico. Además, está demostrado que las plantas sometidas a estrés hídrico necesitan incrementar el contenido total de aminoácidos libres para soportar dicha situación. Esto lo hacen a costa de disminuir la formación de

proteínas, lo que provoca una reducción en la tasa de crecimiento de estas en dichos casos (Peñaloza y Fernández, 2001; citados por Peil y Gálvez, 2005).

Se sabe que los aminoácidos están íntimamente relacionados con los mecanismos de regulación del crecimiento y desarrollo vegetal. Algunas hormonas vegetales se encuentran unidas a aminoácidos o proceden de la transformación de estos, lo que indica el importante papel que puede tener la aplicación de aminoácidos libres como fertilizantes (Inostoza et al, 2000; citados en informe del ICA, 2007).

## Conclusiones

Las plantas tratadas con MO<sub>1</sub> en las dos áreas experimentales (Avenida 68 y Calle 170) según ubicación expresada en la metodología, resultaron ser las que manifestaron los mejores resultados para la Tasa de Crecimiento Relativo.

Las plantas sometidas al tratamiento MO<sub>1</sub> situadas en el área experimental de la Calle 170, fueron las que mejor expresaron su EE comparadas con el testigo. Al parecer por estar en un estado de desarrollo vegetativo superior a las de la Avenida 68.

## Referencias

- Cadahia, C. (1998). *Fertirrigación en cultivos hortícolas y ornamentales*. Ediciones Mundi-Prensa: Madrid, España.
- Dzib, E, & Uribe, V,. (2006). *Fuentes de fertilizantes y su respuesta en el rendimiento y calidad del chile habanero*. Memoria de la Primera Convención Mundial del Chile. 230 p.
- Honorato, R. (2000). *Manual de Edafología*. Pontificia Universidad Católica de Chile. Chile.
- ICA (2007) Comercialización de fertilizantes y acondicionadores de suelo. Producción, ventas, importación y exportación. *Boletín Técnico*. Internacional Thomson Editores.
- Landis, T. (1989). Mineral nutrients and fertilization. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service: 1-67 p.
- Lersel, M., Nemali, K. (2004). *Drought stress can produce small but not compact marigolds*. Hort Science. 39, 6: 1298-1301 p.
- Martinez, M., Ruiz, N., May, R., Guzmán, A., Quintal, F., Pacheco, R. (2006). *Dynamics and Distribution of Nutrients during the Development of Plantlets of Habanero Pepper*. HortScience. 41(2):477-479 p.
- Peil, R. y Gálvez, J. (2005). *Reparto de materia seca como factor determinante de la producción de las hortalizas de fruto cultivadas en invernadero*. Agrociencia. 11(1):5-11 p.
- Rincón, L. Sáez, J. Balsalobre, E. Pellicer, C. (1994). Crecimiento y absorción de nutrientes del pimiento grueso en cultivo bajo invernadero. *Investigación Agrícola, Producción y Producción Vegetal*. 10(1):47-58 p.
- Sánchez, J. (1996). Instrumentos económicos de protección ambiental. *Revista Planeación y Desarrollo*, vol. XXVII, N° 2, abril-junio.
- Schenck, C. (1966). Necesidad de fertilizantes en la producción maderera. Depósito de documentos de la FAO. Recuperado de: <http://www.fao.org/docrep/44279s/44279s09.htm>. Consultado: 5/05/2011.
- Vázquez, E., Torres, S. (2006). *Fisiología Vegetal*. Editorial Pueblo y Educación: La Habana. 453 p.

# Enzimas aplicadas para el desarrollo tecnológico en la industria textil

## Applied enzymes for industrial technology development in textile

**Buitrago, Lina Paola<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Fundación Universitaria Agraria de Colombia- Uniagraria.

Fecha de recepción: noviembre de 2015 / Fecha de aceptación: marzo de 2016

### Resumen

Las enzimas son proteínas especializadas capaces de acelerar la velocidad de una reacción química, promoviendo así la transformación de diferentes moléculas en productos específicos. La alta actividad con la que se llevan a cabo dichas transformaciones, ha llevado a que estos biocatalizadores se posicionen como elementos importantes en diversos procesos industriales. En contexto con la biotecnología, es una de las áreas del conocimiento sobre las cuales reiterativamente se plantean grandes expectativas como posible generador de ventaja competitiva. En efecto, este ritmo acelerado de cambio tecnológico, ha dado lugar a negocios nuevos, ha eliminado otros y ha generado una fuerte demanda de innovación continua. La presente revisión se propone estudiar las enzimas en el desarrollo tecnológico de la industria de textiles, basándose en los nuevos métodos empleados en los procesos para las fibras textiles y la perspectiva del desarrollo industrial textil.

**Palabras Clave:** biocatalizador, industria textil, desarrollo tecnológico y fibras textiles.

### Abstract

Enzymes are specialized proteins capable of accelerating the rate of a chemical reaction, thus promoting the transformation of different molecules into specific products. The high activity with which these changes take place, has led to these biocatalysts are positioned as important elements in various industrial processes. In context with biotechnology, it is one of the areas of knowledge on which repetitively raised high expectations as a potential generator of competitive advantage. Indeed, the rapid pace of technological change has led to new business, it has eliminated others and has generated a strong demand for continuous innovation. This review aims to study the enzymes in the technological development of the textile industry, based on new methods used in processes for textile fibers and textile industrial development perspective.

**Keywords:** biocatalyst, textile industry, technological development and textile fibers.

## Introducción

Grandes avances de la biotecnología en áreas como la microbiología industrial, la biología molecular, la ingeniería de proteínas y la ingeniería enzimática, han centrado su atención en la producción eficiente de biocatalizadores que al mismo tiempo son reutilizados y compatibles con tecnologías sustentables y procesos ambientales más limpios (Centro de actividad regional para la producción Limpia CAR, 2003).

El aumento por el interés durante las últimas décadas sobre el uso de biocatalizadores en diferentes procesos de la industria, tiene desarrollo en nuevas herramientas para la producción y comercialización de enzimas a gran escala (Centro de actividad regional para la producción Limpia CAR, 2003).

Durante siglos, se diseñaba una prenda textil en función de las fibras conocidas en ese momento, lo que determinaba la mayoría de las propiedades. Sin embargo, desde finales del siglo XIX, el textil ha tenido grandes cambios a una velocidad sorprendente, con un profundo impacto en la sociedad, como el ser diseñados para aplicaciones específicas (Martín, 2007).

Quizá fueron los textiles de uso técnico (TUT) los que terminaron con la creencia generalizada de que los tejidos sólo servían para vestir a las personas. Hoy día, la incorporación de los TUT en los mercados es cada vez mayor, creciendo mucho más deprisa que los tradicionales (Martín, 2007). El sector textil es consciente de que

la innovación es primordial para obtener productos pioneros que satisfagan las necesidades de los consumidores (Belda, 2010).

Pero, hacen mucho tiempo, han comenzado a conocerse en el mercado los llamados textiles inteligentes, un grupo de materiales utilizados en numerosas disciplinas. Mediante el empleo de biocatalizadores es posible conseguir nuevos materiales o incorporar nuevas propiedades (Belda, 2010).

La rápida evolución de la sociedad plantea la necesidad de adoptar nuevas tecnologías, que permitan obtener productos innovadores que incorporen propiedades y funciones específicas (Belda, 2010). En la industria textil se han identificado algunos beneficios al incorporar estas tecnologías en los procesos productivos, como la reducción del impacto contaminante y el hecho de ser económicamente más favorables. Sin embargo, su desarrollo, como el de otras áreas de la biotecnología, está afectado por problemas como la creciente brecha científica y tecnológica con respecto a los países industrializados (Castellanos, Ramírez, & Montañez, 2006).

## Materiales y métodos

Mediante una exhaustiva búsqueda de estudios investigativos y experimentales, en la industria textil se encuentra la tendencia del uso de las enzimas, comprendiendo la naturaleza de su cadena productiva, involucrando tanto a la materia

prima (principalmente el algodón o fibras sintéticas), como el uso intensivo de agua y químicos. Todos los eslabones de la cadena han sido replanteados. El gran volumen de ropa que se produce anualmente implica una explotación de los recursos naturales que, en su mayoría, no se recuperan mediante el reciclaje. El primer estudio a tratar es la aplicación de componentes de un sistema de inteligencia tecnológica (Castellanos, Ramírez, & Montañez, 2006) para la vigilancia tecnológica, implementada de manera preliminar para la definición de estrategias en el campo de las enzimas industriales textiles (Castellanos, Jiménez, Sinitsyn, Montañez, & Sinitsyna, 2006).

El segundo estudio es el uso de las nuevas tecnologías enzimáticas, una de ellas es evaluar el efecto de la aplicación de organismos celulósicos como la *Trichoderma reesei*, como purificador en el procesos de *Biostoning* (Arja, 2004). Además de otros efectos por la acción celulósica y posible sustituto de las piedras pomes en la aplicación sobre telas de algodón como los jeans (Torrez, M. *et al*, 2010). Por último, el análisis reciente sobre el aumento de la tendencia de microencapsulación enzimática en la industria de textiles (Colomera, 2003).

## Resultados y discusión

El desarrollo tecnológico de la industrial enzimática, en el sector de los textiles, presenta una dinámica, mediante la aplicación de la vigilancia tecnológica,

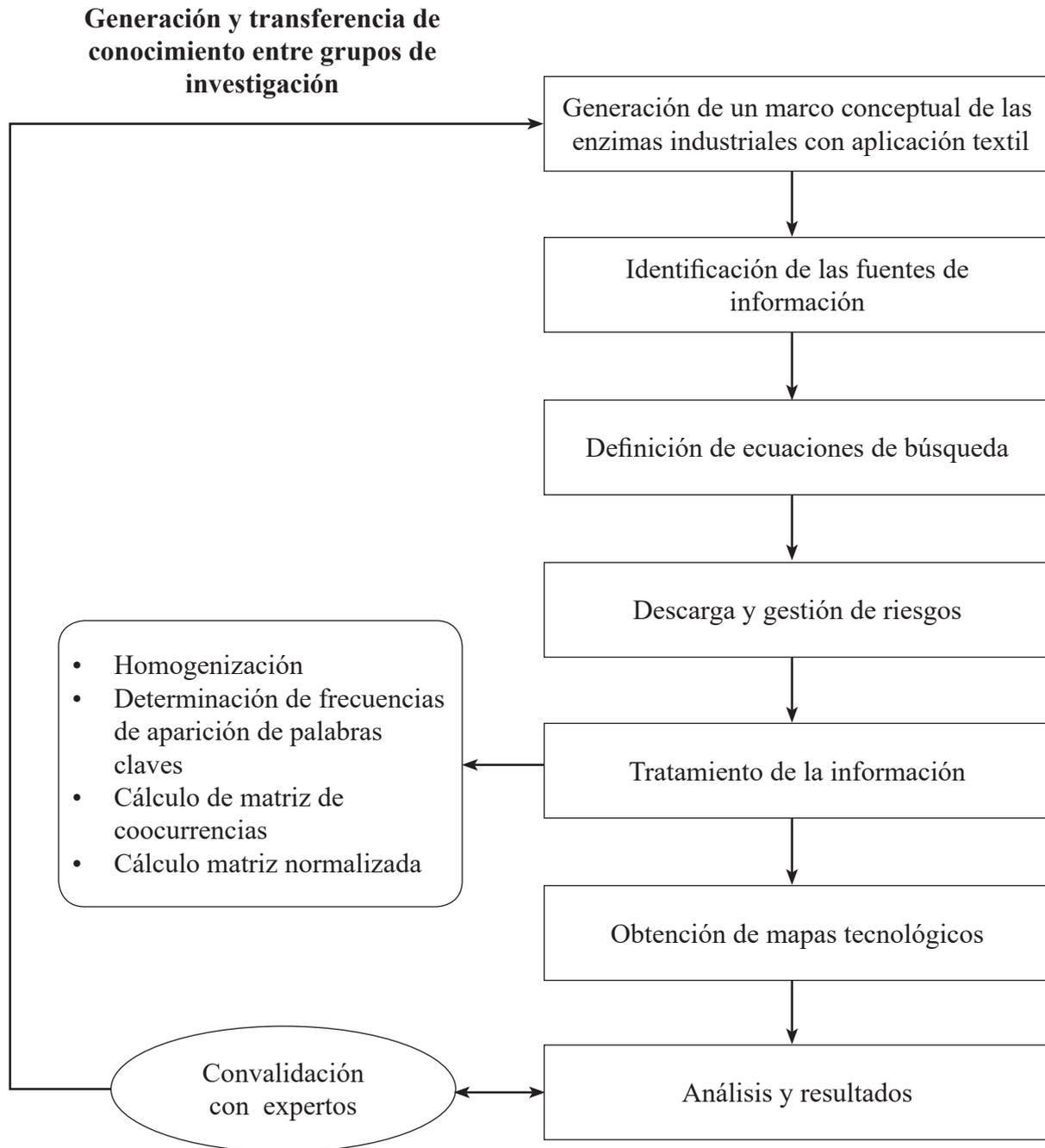
la cual, es una herramienta moderna de gestión y manejo de la información científica y tecnológica (Castellanos, Jiménez, Sinitsyn, Montañez, & Sinitsyna, 2006).

La metodología empleada en el ejercicio de vigilancia tecnológica según (Castellanos, 2006), consta de tres etapas principales. La primera es la selección de fuentes de información en bases de datos de artículos científicos y en bases de datos de patentes. La segunda es la definición de las ecuaciones de búsqueda y descarga de información en un formato adecuado para su tratamiento. Y la tercera, la preparación del cuerpo de información y el análisis de resultados (Castellanos, Jiménez, Sinitsyn, Montañez, & Sinitsyna, 2006).

En el ejercicio de vigilancia tecnológica a partir de análisis cuantitativo de las enzimas con aplicación en la industria textil se muestra en la Figura 1. Se empleó la base de datos SCOPUS® que, además de incluir bases de artículos científicos, utiliza el motor de búsqueda de la Oficina Europea de Patentes (EPO), conocido como Espacenet®. Para la búsqueda de información se construyó una ecuación de búsqueda en la base de datos de SCOPUS®, en la cual se tuvieron en cuenta aspectos como: definición de los temas, análisis de los campos y selección de términos descriptivo (Castellanos, Jiménez, Sinitsyn, Montañez, & Sinitsyna, 2006). Esta ecuación permitió encontrar 689 artículos que fueron depurados, teniendo en cuenta la pertinencia de la temática tratada en cada uno de ellos, de esta forma se llegó a un total de 483 artículos, además se obtuvieron 434 registros de patentes concedidas, que

posterior a la revisión se seleccionaron 390 patentes para realizar el análisis de los

resultados (Castellanos, Jiménez, Sinitsyn, Montañez, & Sinitsyna, 2006).

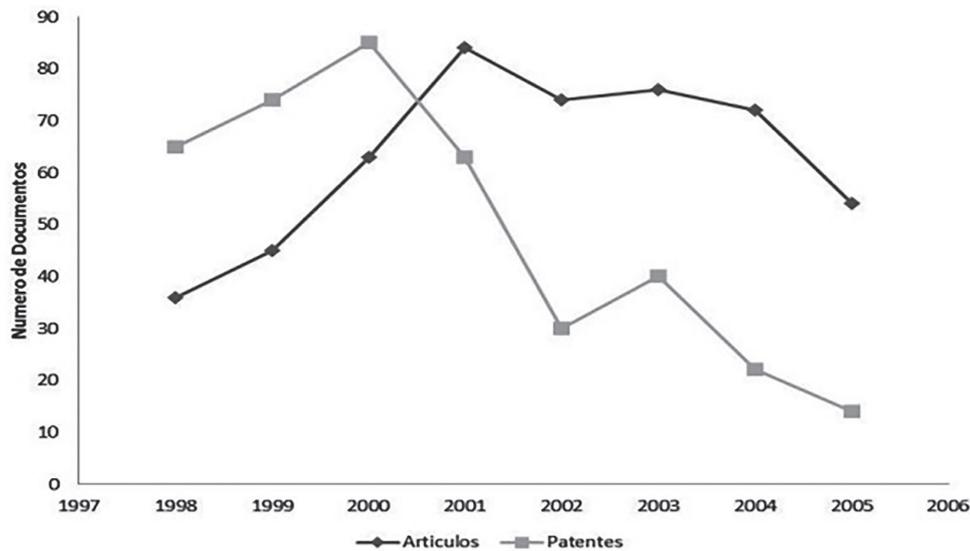


**Figura 1.** Metodología del ejercicio de análisis cuantitativo de enzimas con aplicación en la industria textil. Fuente: Castellanos, O., Ramírez, D., & Montañez, V. (2006).

El estudio de monitoreo científico y tecnológico realizado condujo a determinar el comportamiento de las patentes concedidas y la publicación de artículos científicos sobre la aplicación de enzimas en el sector textil. La Figura 2 describe la dinámica de la producción científica y tecnológica registrada. Las patentes concedidas durante el periodo 1998-2000 superaron el número de artículos

publicados en revistas científicas en este mismo periodo.

Se observa un comportamiento creciente en la asignación de patentes hasta el año 2000, cuando se adjudicó el número máximo de patentes (85) en la ventana de observación. A partir de este año, el número de patentes concedidas disminuyó de manera considerable. (Castellanos, Ramírez, & Montañez, 2006).



**Figura 1.** Dinámica del desarrollo científico y tecnológico en enzimas industriales con aplicación textil. Fuente: Castellanos, O., Ramírez, D., & Montañez, V. (2006).

Las posibles causas de este comportamiento se atribuyen a los procesos de fusión y adquisiciones de grandes empresas desarrolladoras de tecnología enzimática en la segunda mitad de la década de los años 90 que trajo como consecuencia la disminución de la oferta tecnológica de nuevos desarrollos. La publicación de artículos tiene su punto máximo en el año 2001 con un total de

84, manteniendo un comportamiento estable hasta el año 2004. En el año 2005 se registra una caída en el número de publicaciones científicas sobre la aplicación de enzimas industriales en la industria textil (Castellanos, Ramírez, & Montañez, 2006). Como resultado al estudio realizado, se elaboró un mapa tecnológico de donde se identificaron los siguientes clústers temáticos:

**Tabla 1.** Clústers temáticos asociados a las referencias de artículos encontrados en la ecuación de búsqueda definida.

Clúster	Característica
Clúster A	Uso de procesos enzimáticos en el tratamiento de textiles, principalmente asociados al denim y al teñido con índigo. Se destacan los procesos asociados con el acabado biológico (biopolishing), manchado de fibras Backstaining en procesos de desteñido y acabado.
Clúster B	Procesos enzimáticos empleando enzimas xilanasa y hemicelulosa. También el blanqueamiento enzimático de fibras de origen vegetal.
Clúster C	Uso de las enzimas en los procesos de protección del medio ambiente. Se logra distinguir la participación de tópicos relacionados con el manejo de efluentes y aguas residuales de los procesos de teñido y desteñido de textiles, resaltándose el uso en efluentes que contienen colorantes reactivos.
Clúster D	Uso de procesos de la celulosa en tratamientos previos a su utilización industrial y en la descomposición en sus unidades químicas más simples.
Clúster E	Interacción entre los clústers A, B y C.

La perspectiva de utilizar herramientas modernas en el desarrollo de la estrategia tecnológica en el campo de las enzimas industriales, permite asimilar la problemática abordada de manera sistémica e integral. Es por esto que al identificar el estado de la investigación y experiencias realizadas en la aplicación de enzimas, la industria de textiles da una expectativa del futuro, enfrentándose a cambios, desde el inicio de la elaboración de fibras hasta que el cliente obtiene estas fibras. Este cambio implica mejoras en el proceso y requiere remplazar las antiguas tradiciones para elaborar telas. Es el caso del aspecto descolorido de algunas telas como el *denim*.

Una tela de algodón que se tiñe, generalmente de color azul, con tinte índigo, tiene un aspecto de lavado con piedra, descolorido o desgastado. Las desventajas de lavar con estos compuestos es que

contienen grupos funcionales de alquenos, aromáticos, enlace CN, SO y algunos están hechos con moléculas inorgánicas tales como Al-O, Si-O, KO, N = N (Manikandan, 2009).

Por esto, la industria textil se ha motivado a introducir agentes biológicos más reforzados (Forte, 2011), ya que este lavado implica principalmente la eliminación del tinte para obtener un material con áreas de color más claro, mientras que se mantiene el contraste con el blanco además de presentar una textura más suave (Rathi, Roda, Pande, & Smith, 2007). Otros efectos son el ahorro de energía y de agua. Los efectos favorables del *denim*, se han obtenido con las enzimas que catalizan la hidrólisis de las sustancias de pectina. Según los estudios, existen tres tipos principales de enzimas que se utilizan en el *Backstaining*: esterasas pectina, poligalacturonasas y pectina liasas (Forte, 2011).

Varios investigadores examinaron las posibilidades de combinar enzimas con el Backstaining, logrando una humectabilidad adecuada en la tela. Esto ha generado que los usuarios se sientan satisfechos con el aspecto de las telas y el valor agregado que tienen al ser tratadas con biocatalizadores que no generan daños ambientales.

(Forte, 2011) realizó un estudio sobre el uso de un baño de desencolado de las telas, dando como resultado, un procedimiento con las oxidasas de glucosa. Estas producen peróxido de hidrógeno en soluciones de agua en presencia de glucosa, a partir del oxígeno disuelto en el agua. El grado de blancura obtenido en este procedimiento es menor que el grado de blancura de las fibras por el procedimiento clásico con peróxido de hidrógeno.

Otro estudio reportado es el de (Tzanov, 2001), donde tomaron el tejido de algodón sin preparación, y se mezcló con dos tipos de pectinasas: alcalina y ácida. Se blanquearon en condiciones de pH: 10-11, temperatura: 90° C y una duración de 60 minutos con peróxido producido enzimáticamente. La blancura por acción alcalina aumentó en las telas un 73%, en comparación con la blancura inicial de la tela lavada. Las dos telas llegaron a un grado similar de blancura -66,1 y 66,4 respectivamente. Aunque la pectina alcalina lavada resultó con una blancura más baja que el tratamiento enzimático ácido. Los resultados del blanqueo con peróxido producidos enzimáticamente fueron comparables con los resultados obtenidos en un proceso de blanqueo estándar (Tzanov, Calafell, Guebitz, & Cavaco-Paulo, 2001).

Por otro lado, Losonczi (2004) presenta resultados de su estudio sobre la adición de EDTA (ácido etildiaminotetraacético) con solución enzimática, demostrando un aumento del grado de hidrólisis, que resulta en una liberación más alta de azúcar reductor y la extracción de iones de calcio más eficiente, lo que indica un efecto sinérgico de la enzima y EDTA en un baño de tratamiento. Sin embargo, cuando se aplica EDTA como pretratamiento, existe una disminución en la eficiencia de la hidrólisis enzimática subsiguiente. Estos resultados confirman hallazgos en el campo de algodón biopreparado, el EDTA modifica la estructura del sustrato mediante la eliminación de los iones de calcio a partir de los puentes cruzados de pectina (Losonczi, 2004).

Según el estudio de (Tzanov, 2001) sobre el teñido con colorantes directos y reactivos fueron eficientes y equitativos, sin embargo, no se nota ninguna diferencia estadísticamente significativa entre la tasa de captación, el agotamiento de equilibrio, o la profundidad de color en el sustrato de algodón entre las dos telas. Finalmente se afirma que los tratamientos con o sin la enzima no afectan a la uniformidad de la tintura (Tzanov, Calafell, Guebitz, & Cavaco-Paulo, 2001).

Aunque realizan un estudio acerca de la aplicación de un nuevo producto auxiliar de tipo no iónico que en su presentación comercial es una emulsión de color blanco, soluble en agua en cualquier proporción. Este se propone como sustituto del electrolito en la tintura de la lana, intentando establecer los posibles efectos sinérgicos al utilizar

una enzima (*Streptomyces Fradiae Protease*) junto con el nuevo producto auxiliar de tipo no iónico.

(Riva, Prieto, & Yew Hin Clair, 2000) compararon los resultados de absorción de colorante, diferencias de color, solidez de las tinturas y se determinaron algunos parámetros ecológicos (DQO, DBO, pH y conductividad). Como resultado de análisis, al incorporar el nuevo producto auxiliar en sustitución del sulfato sódico, da lugar a agotamientos de colorante y cinéticas de absorción muy similar al electrolito convencional. Las tinturas en las que se ha utilizado el nuevo producto auxiliar junto con el enzima S.F.P presentan mayores absorciones de colorante que las tinturas en presencia de electrolito. Este aumento de la absorción hay que atribuirlo fundamentalmente a la acción del enzima (Riva, Prieto, & Yew Hin Clair, 2000).

Otros experimentos indican la naturaleza de las celulasas neutras que tienen un impacto en el *Backstaining*. Se trata de similitudes de la celulasa con el índigo y la absorción en el hilo de la tela de *denim*. Las celulasas de *t. reesei* absorbidas en la tela de algodón causaron tinción índigo superior a cantidades comparables absorbidas por otras celulasas neutras como *h. insolens* como lo presenta (Miettinen, 2004)

Estas enzimas celulíticas son también producidas a partir de hongos aislados de especies nativas del altiplano bolivariano (Cabero, 2007). Las enzimas comerciales tienen un costo elevado. Por esta razón hallar enzimas nativas permite reducir los costos de producción de celulasas.

En este sentido, se tomaron muestras de las cercanías del lago Titicaca y río Desaguadero (Bolivia). Se lograron aislar 44 cepas, de las cuales 31 cepas se aislaron por siembras directas. 13 cepas se aislaron por acumulación de cultivos en sustratos celulíticos (Cabero, 2007). Las cepas con mejor actividad celulítica fueron: IB 105, IB 106 y IB 1C. Estas cepas produjeron actividad celulítica (en un medio que contenía paja brava de la especie *Festuca dolichophylla*). Finalmente, estos resultados fueron comparados con dos enzimas comerciales: C-9422 Sigma Cellulase EC 3.2.1.4 (*Trichoderma viride*) y C-8596 Sigma Cellulase EC 3.2.1.4 (*Trichoderma reesei*). Las enzimas nativas no fueron purificadas, y presentaron niveles similares de actividad xylanolítica de 6% mayor al de las enzimas comerciales (Cabero, 2007).

Asimismo se han encontrado estudios sobre la extracción de enzimas queratinásicas, las cuales obtienen resultados similares a los sistemas de oxidación para la obtención de productos inencogibles (producto que conserva una gran estabilidad dimensional, de manera que no encoge por el uso ni por efecto del lavado) y de mayor rendimiento tintóreo (Pippolo, 2006). La gran diferencia entre el proceso enzimático y los anteriores radica en la forma de acción. El extracto queratinásico produce la ruptura de los enlaces de disulfuro de la fibra en forma específica, por lo que el daño a la lana se disminuye y a su vez, el proceso baja el grado de contaminación de los efluentes.

De acuerdo con (Pippolo, 2006), es importante destacar el hecho de que la

mejora de las propiedades de la lana se obtiene no solamente cuando el extracto enzimático tiene una alta actividad queratinásica, sino también cuando es baja, pero en el extracto existe una alta actividad proteolítica. De modo que no sólo las enzimas queratinásicas actúan sobre las propiedades de la lana, sino que la presencia de otras proteasas u otro tipo de enzimas presentes en el extracto enzimático, también mejora el proceso de tintura (Pippolo, 2006).

Los tratamientos enzimáticos a las fibras de textiles se hicieron con éxito en la última década, principalmente para las fibras de algodón, con la finalidad de sustituir procesos tradicionales y conferir nuevas propiedades o efectos especiales a las fibras textiles, encontrando ventajas en el sentido de productos biodegradables o de condiciones menos severas (Díaz, 2007).

A pesar de conocer estas ventajas del uso de enzimas, por razones técnicas y económicas, su empleo en condiciones de procesos industriales no se ha generalizado. Debido a su alto costo, problemas de estabilidad y difícil separación del producto final, a menudo requieren ser inmovilizadas sobre un soporte (Arroyo, 2014). La inmovilización consiste en mantener la biomolécula (como las enzimas) unida o atrapada en un soporte físico, conservando su actividad catalítica y permitiendo el flujo de sustratos y productos (Sánchez, 2014).

Como ventajas del emplear enzimas inmovilizadas se pueden destacar (Arroyo, 2014):

- a. El aumento de la estabilidad de la enzima.
- b. La posible reutilización del derivado, por lo que disminuyen los costos del proceso.
- c. La posibilidad de diseñar un reactor enzimático de fácil manejo y control, adaptado a la aplicación de la enzima inmovilizada.

Estos reactores con enzimas inmovilizadas permiten el empleo de cargas elevadas de enzima, la cual mantendrá su actividad durante más tiempo. Los principales inconvenientes del proceso de inmovilización son (Arroyo, 2014):

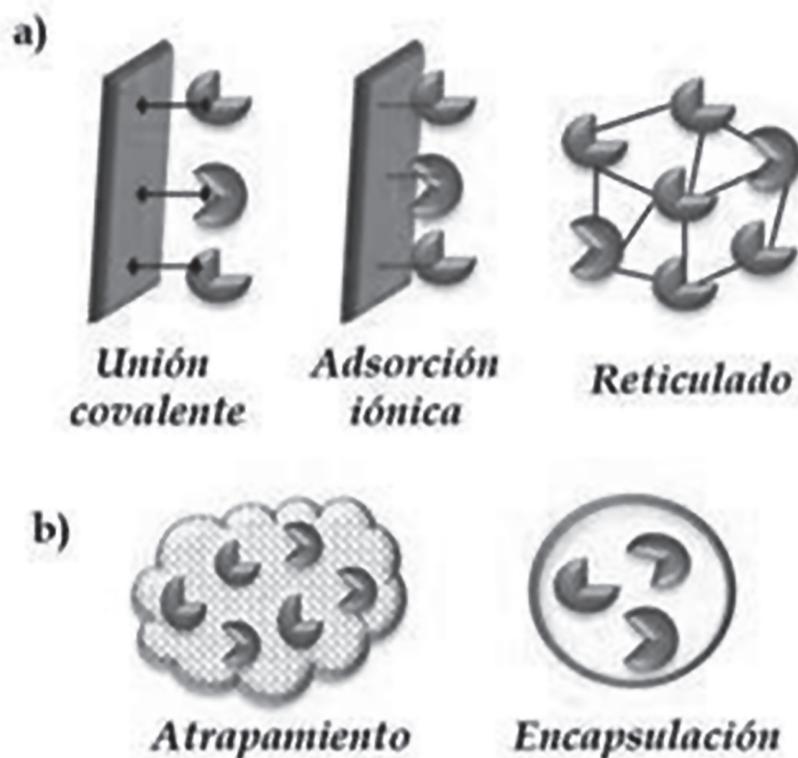
- a. La alteración de la conformación de la enzima respecto a su estado nativo.
- b. La gran heterogeneidad del sistema enzima-soporte donde pueden existir distintas fracciones de proteínas inmovilizadas con un diferente número de uniones al soporte.
- c. Siempre suele haber una pérdida de actividad de la enzima durante la movilización.
- d. El biocatalizador es más caro que la enzima nativa.

No existe un método de inmovilización válido para todas las enzimas, por lo que el tipo de enzima, así como las características y aplicaciones deseadas se deben considerar para seleccionar el método más adecuado. Las enzimas pueden ser inmovilizadas por

retención física o unión química como se puede ver en la Figura 3 (Sánchez, 2014).

Recientemente se ha reportado una investigación sobre la inmovilización de celulasas en nanopartículas magnéticas de  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , la cual ha permitido aumentar o

mantener su actividad y estabilidad por varios ciclos. Aunque se reporta que existe una pérdida de actividad después del proceso de inmovilización, lo cual se atribuye a la desnaturalización de proteínas, inhibición por producto intermedio o a la unión de grupos funcionales. (Pippolo, 2006).



**Figura 1.** Métodos de inmovilización de enzimas: a) unión química, b) retención física  
Fuente: Sánchez, J., et. al. 2014.

Otros autores presentan la inmovilización de la enzima lacasa en diversos tipos de soportes, como *Pycnopus sanguineus*, mediante su absorción en una matriz magnética no porosa, recubierta por un polímero multifuncional, realizada en presencia de iones de cobre. El proceso se caracterizó por una mayor absorción en

el punto isoeléctrico de la enzima (pH 3) y una actividad de 68% de la enzima libre aplicada para la inmovilización. (Pippolo, 2006).

Uno de los sistemas de inmovilización es la aplicación de microcápsulas sobre sustratos textiles. Se trata de una técnica donde las

enzimas están rodeadas de membranas semipermeables (de forma esférica, con tamaños entre 1 y 100  $\mu\text{m}$  de diámetro). Estas membranas semipermeables pueden ser

permanentes (originadas por polimerización interfacial) o no permanentes (generadas por surfactantes, también llamadas “micelas reversas”).



**Figura 1.** Estructura microcápsula.  
Fuente: Colomera, A. (2003).

Mediante este método se pueden encapsular simultáneamente una gran variedad de enzimas, células o biomoléculas, permitiendo que se lleven a cabo determinadas reacciones que suceden en múltiples pasos (Arroyo, 2014). Los principios activos encapsulados son necesarios por dos motivos fundamentales: (Colomera, 2003).

- a. Para aislar activos inestables en contacto con el medio externo.
- b. Para liberar progresivamente estos principios activos.

Las primeras aplicaciones en la industria textil, fueron los colorantes dispersos microencapsulados, como forma de presentación del colorante en polvo, aunque la aplicación que en este momento es la más popular o conocida

es la de los Materiales de Cambio de Fase, (PCM). Estos materiales aprovechan el calor cedido o absorbido en su paso de sólidos a líquidos y viceversa. La *Triangle Research and Development Corporation*, fue la primera en desarrollar estos productos y la NASA, la primera en aplicarlos a los trajes de astronautas para los paseos espaciales (Capablanca, 2008). La microencapsulación ha permitido la obtención de fragancias y perfumes resistentes a los lavados, aplicables a cualquier tipo de tejido para crear ambientes o para dar sensaciones de frescor en confección (Capablanca, 2008).

Un estudio reciente de (Capablanca, 2008) observó que la disposición de las microcápsulas sobre las fibras de algodón no se realiza de forma homogénea. Esto fue observado mediante microfotografías (microscopía electrónica

SEM). También se observó que la acción de los sucesivos lavados disminuye el contenido de las microcápsulas depositadas sobre las fibras de algodón en las tres formulaciones empleadas. Como resultado a esta investigación se demuestra la combinación de técnicas experimentales que permiten conocer el estado, forma, tamaño, posición y cantidad de microcápsulas presentes en el sustrato textil y en las aguas de lavado. (Capablanca, 2008).

Recientemente se encontró una investigación como posible solución al problema medioambiental en la producción de fibras de poliéster, el cual presenta alta cristalinidad, es muy hidrófobo y tiene una tasa de recuperación de humedad debajo de 0.5%. Lo que ha generado ciertos inconvenientes de confort en las prendas.

Para aumentar la hidrofiliidad y flexibilidad de las fibras de poliéster, se usa industrialmente un tratamiento alcalino con NaOH en condiciones enérgicas. Por esto se han implementado biocatalizadores de origen microbiano en el procesamiento de fibras textiles. Esto abre nuevas alternativas para mejorar las propiedades del producto y el uso de procesos ecológicamente más adecuados. Químicamente son estructuras de origen proteico capaces de modificar el poliéster, cuyas propiedades funcionales son mejoradas, lo que conlleva a ser más amigable con el medio ambiente en beneficio de mantener el equilibrio ecológico más adecuado y necesario para la sociedad (Díaz, 2007).

## Conclusiones

Los temas principales que se han abordado en las investigaciones relacionadas con las enzimas para el sector industrial, de acuerdo con el mapa tecnológico, brindan una mirada a la situación de la industrial de textil, estableciendo los pro y los contra en el proceso de fabricación de las telas. En el caso del *Backstaining*, este puede ser una alternativa para el lavado del algodón. Es un procedimiento simple, repetible y seguro.

Este proceso ayudaría a que la fibra de algodón conserve sus cualidades naturales, la tela podría ser más suave al tacto. En la actualidad, existen algunas aplicaciones de biocatalizadores para lavados de fibra de algodón como la amilasa, la cual puede eliminar de la tela, el exceso de almidón. También se encuentra la catalasa, la cual es capaz de descomponer el peróxido. La ventaja de esta enzima es que no requiere su remoción de lavado y es una alternativa inocua para el medio ambiente en los procesos tradicionales. Otra aplicación es la de enzimas celulíticas que ayuda al desgaste de las fibras de algodón, y debido a este efecto se observa un ligero blanqueamiento.

Los procesos con tratamientos enzimáticos, demuestran ser altamente potenciales en la industria, aportando a la nueva tendencia de producción más limpia y ayudando al cuidado del medio ambiente.

El uso de enzimas en la industria son perspectivas para el mercado colombiano y tienen reconocimiento en la comunidad de expertos. Cambiar esta tendencia requiere

de mayor consenso, abordando este reto, mediante el trabajo de comunidades nacionales de manera integrada.

Actualmente se realizan investigaciones sobre el empleo de enzimas lignocelulósicas inmovilizadas. Estas presentan ventajas tecnológicas y económicas frente a las enzimas solubles, principalmente por su mayor estabilidad, ahorro de energía, capacidad de reutilización y separación del producto final.

Finalmente, el presente trabajo abre el camino para futuras investigaciones que permitan conocer a profundidad, las cantidades óptimas de productos a emplear, el tipo de sustratos y estructura a utilizar, de forma que se consiga optimizar un proceso que permita mejorar la fabricación de tejidos.

## Referencias

- Pérez Curiel, J., Montiel Salinas, C., Alonso Calderón, A., Geissler, G., Zayas Perez, M., & Villegas Rosas, M. (2008). Eliminación de fenol, 2-clorofenol y colorantes en aguas artificialmente contaminadas y aguas residuales textiles utilizando la peroxidasa de chayote. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 278 - 284 p.
- Arana Cuenca , A., Tellez , A., Maqueda, A., Viniegra , G., & Lorea, O. (s.f). *Decoloración Enzimática de Colorantes Comerciales*. Zempoala: XI Congreso nacional de Biotecnología y Bioingeniería.
- Arana, A., Tellez, A., González , T., González, A. (2002). *Aspectos Generales de la biodegradación de la madera; aplicaciones industriales de las lacasas*. Biotecnología. 40 - 55 p.
- Arja, M. (2004). *Trichoderma reesei strains for production of cellulases for the textile industry*. VTT Publications 550.
- Arroyo, M. (2014). *Inmovilización de enzimas. Fundamentos, métodos y aplicaciones*. Madrid.
- Belda, E. (2010). Estudio de la aplicación de microcápsulas en el lavado doméstico y su comportamiento. *Revista de química e industria textil*, 34 p.
- Cabero, K. (2007). *Producción de enzimas celolíticas a partir de hongos aislados de especies nativas del altiplano*. Recuperado de: <http://iideproq.umsa.edu.bo/proyectos/Produccion%20de%20enzimas%20celuloliticas.pdf>
- Capablanca, L. (2008). *Evaluación de la Adhesión y Permanencia de Microcápsulas sobre tejidos de algodón*. Valencia: Ditexpa.
- Castellanos, O., Jiménez, C., Sinitsyn, A., Montañez, V., Sinitsyna, O. A. (2006). Análisis del desarrollo tecnológico en la aplicación de enzimas en la industria textil. *Revista Ingeniería e Investigación*, 52 - 67 p. Recuperado en febrero de 2015 de: [http://bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/10893/1599/1/inycoppe\\_v8\\_n1\\_a5.pdf](http://bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/10893/1599/1/inycoppe_v8_n1_a5.pdf)

- Castellanos, O., Ramírez, D., & Montañez, V. (2006). Perspectiva en el desarrollo de las enzimas industriales a partir de la inteligencia tecnológica. *Revista Ingeniería e innovación*, 52 - 67 p.
- Castillo, E., Rodríguez, M. (2014). Enzimas aplicadas en procesos industriales. *Revista digital Universitaria*, 2 - 11 p.
- Centro de Actividad Regional para la Producción Limpia CAR. (2003). *Aplicaciones de la biotecnología en la industria*. Cataluña, España.
- Colomera Ceba, A. (2003). Microencapsulación para aplicaciones textiles. *Boletín ICE económico*, 91 - 96 p.
- Díaz, R. (2007). *Microbiología Textil*. Modificación Biocatalítica de poliéster.
- Escrigas, M. (2014). Cottonbleach: Tratamiento enzimático y con ultrasonidos para el blanqueo del algodón, una tecnología respetuosa con el medio ambiente. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/2099.1/23741>
- Forte, P. (2011). Biotechnology in Textiles – an Opportunity of Saving Water. *Treatment and Reutilization*, 387 - 404 p. Recuperado de: <http://cdn.intechweb.org/pdfs/14566.pdf>
- Gacén, J. (2001). Fibras Higiénicas. Fibras saludables. *Boletín Intexter*, 49 - 54 p.
- Gil, M., Usma, J., Soto, A., Gutiérrez, O., Sánchez, G., & Jiménez, T. (2011). Decoloración de efluentes textiles que contienen colorantes reactivos empleando extracto de alcachofa. *Producción más limpia*, 19 - 31 p.
- Godfrey, T. (1996). *Industrial enzymology*. London: MacMillan.
- Gomes, I., Sarkar, P. K., Rezwana Rahman, S., Abdur Rahim, M., James Gomes, D. (2007). Production of Cellulase from *Talaromyces emersonii* and Evaluation of Its Application in Eco-Friendly Functional Finishing of Jute-Based Fabrics. *Bangladesh J Microbiol*, 109 - 114 p.
- Gusakov, A. (2000). A comparative study of different cellulase preparations in the enzymatic treatment of cotton fabrics. Recuperado de: <http://link.springer.com/article/10.1385/ABAB:88:1-3:119#page-2>
- Herrera, T., Martinex, C., Valdez, B. (2010). Microencapsulación de acetato de triclosan por polimeración interfacial para aplicaciones textiles. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 471 - 484 p.
- Jabeen, F., & Iqbal Qazi, J. (2009). Biostoning potencial of bacillus cereus cellulases at higher temperatures. *Proc. Pakistan Congr. Zool.*, 15 - 26 p.
- López, C., Moreira, M., Feijoo, G., Lema, J. (2007). Tecnologías para el tratamiento de efluentes de industrias textiles. *Afnidad*, 561 - 573 p.

- Losonczi, A. (2004). *Bioscouring of cotton fabric*. Budapest University of Technology and Economics.
- Manikandan, B. (2009). Biobleaching of Textile Dye Effluent Using Mixed Culture through an Immobilized Packed Bed Bio Reactor (IPBBR). *Modern applied Science*, 131 - 135 p.
- Martín, J. (2007). *Los tejidos inteligentes y el desarrollo tecnológico de la industria textil*. Recuperado de <http://www.tecnicaindustrial.es/tifrontal/a-687-Los-tejidos-inteligentes-desarrollo-tecnologico-industria-textil.aspx>
- Miettinen, A. (2004). Trichoderma reesei strains for production of cellulases for the textile industry. *VTT Publications* 550 p.
- Mukesh, D., Poovai, P., Puneeth Kumar, C., Sushma, Y., Manimaran, A., & Kalaichelvan, T. (2012). Optimization of Bacillus cereus MRK1 cellulase production and its Biostoning activit. *De. Pharmacia Lettre*, 881 - 888 p.
- Needles, H. (1986). *Textile, fibers, dyes, finishes, and processes*. New Jersey: Noyes Publications.
- Nierstrasz, V., Warmpeskerken, M. (2003). *Textile processing with enzymes*. Recuperado de: Process engineering and industrial enzyme applications: <https://books.google.com.co/books?hl=es&lr=&id=6LKjAgAAQBAJ&oi=fnd&p-g=PA120&dq=Process+engineering+and+industrial+enzyme+applicatio>
- tions&ots=GxKCKMddKw&sig=OKv-brPjkbyVtone2foXIm4uycr4#v=one-page&q=Process%20engineering%20and%20industrial%20enzyme%20applicatio
- Observatorio industrial del sector textil - confección . (s.f.). *Previsiones sobre la evolución del sector textil - confección en el horizonte de 2015*.
- Observatorio industrial del sector textil y de la confección. (2010). *Retos del Nuevo sector Textil - Confección*.
- Órgano oficial de la Asociación Española de Químicos y coloristas textiles. (2012). *Revista química e industrial textil. Clariant*.
- Ospina, C., Montoya Arango, J., García Palacio, J. (2007). Oportunidades de Producción más limpia en tintorerías del sector textil. *Scientia et Technica Año XIII*, 603 - 608 p.
- Paez, M. (2012). *Determinación de la actividad enzimática de las asyigninaperoxidasa de hongos degradadores de colorantes seleccionados para el tratamiento de aguas residuales de industria de textil*. Recuperado de: <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/5261/1/T-ESPE-033267.pdf>
- Parra, M. (2014). *Caracterización cinética y aplicaciones Biotecnológicas de Peroxidasas*. Murcia.
- Pippolo, D., Belobrajdic, L., Vazquez, A., Pelliquin, P., Berrutti, A., Aguerre, C.

- (2006). *Optimización de la producción de un extracto enzimático keratinásico a ser utilizado en la industria textil.*
- Rathi, P., Roda, D., Pande, R., & Smith, M. (2007). Cutting-edge Biotechnology for a Better Fabric. *Enzymeworld.*
- Riva, A., Prieto, C., & Yew Hin Clair, C. (2000). *Estudio de un producto auxiliar no iónico como alternativa al electrolito en la tinutra de la lana.* Tintoria.
- Rodríguez, E., Pickard, M., & Vazquez Duhal, R. (1999). Industrial Dye Decolorization by Laccases from Ligninolytic Fungi. *Current Microbiology*, 27 -32 p.
- Sánchez, J., Martínez, J., Segura, E., Contreras, J., Medina, M., Noe Aguilar, C., Iliana, A. (2014). Inmovilización de enzimas lignocelulolíticas en nano partículas magnéticas. *Quim.nova*, 504- 512 p.
- Tinoco, Ó., Ruez, L., Rosales, P. (2009). Perspectivas de la moda sostenible en el Perú. *Revista de la Facultad de Ingeniería Industrial*, 68 -72 p. Recuperado de: [http://revistas.concytec.gob.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1810-99932009000200009&lng=es&nrm=iso](http://revistas.concytec.gob.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-99932009000200009&lng=es&nrm=iso)
- Torres, G., Cárdenas, O., Cabero, K., Torrico, D., Álvarez, T., Terrazas, E. (2010). “Biostoning” de material textil por acción enzimática de celulasas producidas por la cepa IB-105 . *Biofarbo*, 1-12 p.
- Tzanov, T., Calafell, M., Guebitz, G., Cavaco, A. (2001). Bio-preparation of cotton fabrics. *Enzyme and microbial Technology*, 357 - 362 p.
- Wiseman, A. (1991). *Manual de biotecnología de las enzimas.* España: Acribia.

# Optimización del momento de cosecha de las semillas de (*Brachiaria híbrido* cv. CIAT BRO2/1752) Yacaré en condiciones de campo

## Optimization time of harvest seeds (*Brachiaria hybrid* cv. CIAT BRO2 / 1752) Yacaré in field conditions

Suárez Rivero, Maikel<sup>1</sup>; Padilla Corrales, Cesar R<sup>1</sup>; Febles Pérez, Gustavo<sup>1</sup>; Suárez Rivero, Deivis<sup>2</sup>; Fraga, Nidia <sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Instituto de Ciencia Animal – ICA.

<sup>2</sup>Fundación Universitaria Agraria de Colombia – Uniagraria

Fecha de recepción: diciembre de 2015 / Fecha de aceptación: abril de 2016

### Resumen

Para el análisis de los datos se utilizó el Modelo Lineal Generalizado Mixto, con medidas repetidas en el tiempo. El experimento tuvo el objetivo de determinar el momento más favorables para cosechar semillas de *Brachiaria* híbrido cv. Yacaré. Los tratamientos consistieron en medir el número de semillas y el porcentaje de germinación. Estos componentes del rendimiento fueron medidos a los 7, 11, 15, 19, 23, 27 y 31 días después de haber ocurrido la antesis. Se pudo conocer que el momento más favorable para la cosecha de semillas estuvo entre 15 y 19 días después de la antesis, lo que se reflejó en el número de semillas llenas desgranadas y su germinación, lo que constituye una recomendación práctica para productores e investigadores. Se recomienda probar el híbrido en otros ambientes del país, donde se trabaja la actividad semillera de pastos y forrajes para ampliar estos estudios a otras especies y variedades de gramíneas. Incorporar los resultados a la docencia de pre y posgrado.

**Palabras Clave:** semillas, *Brachiaria* y cosecha.

### Abstract

For data analysis Generalized Linear Mixed Model with repeated measures over time we were used. The experiment aimed to determine the most favorable for harvesting seeds of *Brachiaria hybrid* cv time. I Yacaré. Treatments consisted of measuring the number of seeds and germination percentage. These yield components were measured at 7, 11, 15, 19, 23, 27 and 31 days after anthesis has occurred. It was learned that the most favorable for seed harvest time was between 15 and 19 days after anthesis, which was reflected in the number of filled seeds shelled and germination, which is a practical recommendation for producers and researchers. It is recommended to test the hybrid in other environments in the country, where the seed activity of pasture and forage working to extend these studies to other species and varieties of grasses. Incorporate the results into teaching undergraduate and graduate.

**Keywords:** seeds, *Brachiaria* and harvest.

## Introducción

El bajo rendimiento de semilla en gramíneas forrajeras tropicales, se puede incrementar reduciendo las pérdidas durante la cosecha, al seleccionar la fecha más favorable para tal fin, así como incrementando el número de inflorescencias por planta y el número de espiguillas llenas por inflorescencia (Joaquín *et al.* 2010). Producir semilla de pasto *Brachiaria* resulta difícil, ya que, por ser una gramínea tropical, su floración es muy heterogénea, las semillas se forman y maduran irregularmente y se desprenden con facilidad (Joaquín *et al.* 2010). Yacaré se introdujo muy recientemente en Cuba y se reporta de buen comportamiento en países latinoamericanos (Pizarro *et al.* 2013). El objetivo del presente experimento fue determinar el momento más favorable de cosecha de semillas formadas de *Brachiaria híbrido* cv. Yacaré.

## Materiales y métodos

### Localización, suelo y clima

El experimento se desarrolló en condiciones de campo, en la Estación Experimental de Pastos y Forrajes “Miguel Sistachs Naya” perteneciente al Instituto de Ciencia Animal, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba, situada en los 23055, LN, 8200, LW a 92 msnm.

## Tratamientos y diseño

La determinación de los indicadores se realizó mediante medidas repetidas en el tiempo, con un diseño completamente aleatorizado. Se partió de la colecta de las semillas desgranadas después de los 7 días de haber ocurrido la antesis, en los embudos trampa, es decir unidades experimentales de 20 panículas en cada periodo de floración. (Padilla & Febles, 1976). Los tratamientos se hicieron en los días en los que se colectaron las semillas desgranadas (7, 11, 15, 19, 23, 27 y 31 días).

## Procedimiento experimental

El estudio se realizó en *Brachiaria híbrido* vc. Yacaré. La siembra de ambos se realizó en el mes de junio de 2013, después de realizada la preparación convencional del suelo consistente en aradura y grada con pases alternos de grada media, en un área de 36 m<sup>2</sup> para cada variedad. Se plantaron macollas, de 3 a 5 hijos (Joaquín *et al.* 2010) para garantizar un tamaño uniforme, a una distancia de plantación de 3 m entre hileras y 3 m entre surcos. La limpieza se realizó de forma manual siempre y cuando fue necesario.

Al año después de realizada la plantación en abril de 2014 se realizó un primer corte de establecimiento, donde se aplicó una fertilización de 11 g/macolla de fórmula completa (9-13-17). A los 30 días antes de la floración para cada variedad en ambos periodos, se aplicó nitrógeno a razón de 5

g/macolla para estimular la aparición de tallos fértiles (Matías, 1994) (González, 2000). Durante el periodo experimental se produjeron dos flujos de aparición de panículas.

La determinación de los indicadores y sus mediciones se realizaron a partir de los 7 días después de la antesis, con un intervalo de muestreo de 4 días, que se efectuaron en 10 embudos trampas para cada variedad, donde se pusieron dos panículas con igual número y longitud de los racimos. El resto de las panículas se eliminaron para evitar el desgrane en los embudos. Las muestras de semillas desgranadas en los embudos trampa se secaron a la sombra y se determinaron el número de semillas llenas y vacías de forma manual con pinzas con el empleo de un estereoscopio marca Accu-Scope y luego se almacenaron con temperatura controlada entre 8 - 12 °C en cartuchos de papel hasta los 3 y 6 meses para disminuir el efecto de latencia. Posteriormente, se realizó la prueba de germinación según tratamientos.

Los indicadores medidos fueron el número de semillas llenas desgranadas. Se consideró que las estructuras florales (al tacto o mediante pinzas) contenían una cariósida llena cuando estas ocupaban aproximadamente todo el espacio entre la lema y la palea. Este procedimiento corresponde al utilizado por (Padilla & Febles, 1976) en *Panicum maximum*. Además se halló el porcentaje de germinación en cápsulas Petri con papel de filtro, se utilizaron 4 réplicas con un número de semillas llenas que dependió del total de semillas colectadas para cada momento.

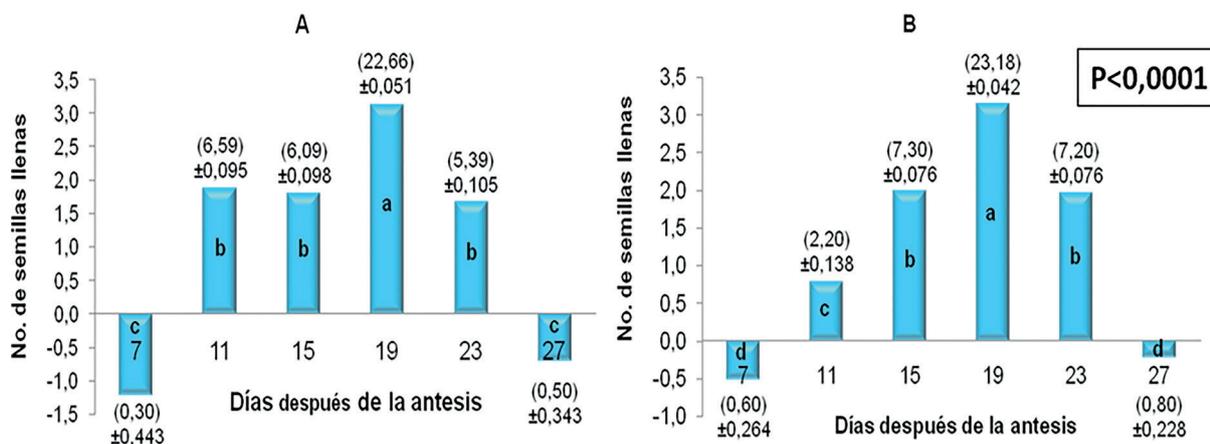
Se efectuó una observación visual con intervalos de 2 días, a partir del inicio de la antesis para valorar cambios de coloración en las inflorescencias del área experimental que pudieran relacionarse en alguna medida, con los indicadores analizados.

## Análisis estadístico

Para el análisis de los datos se utilizó el Modelo Lineal Generalizado Mixto (GLIMMIX) del SAS, ya que este experimento es un estudio con medidas repetidas en el tiempo. Para el procedimiento utilizado se evaluaron las estructuras de covarianza no estructurada (UN); autoregresiva de orden 1 (ar 1); TOEPLITZ (TOEP), componente de varianza (CV) y simetría compuesta (CS). Según (Littell *et al.* 1996), con el objetivo de eliminar heterogeneidad en las varianzas y correlaciones entre observaciones. Para seleccionar la estructura de mejor ajuste a los datos se tuvieron en cuenta los valores más pequeños de los criterios de bondad de ajuste (Akaike, Akaike Corregido y Bayesiano).

## Resultados de discusión

La abscisión de la semilla de este híbrido es común en todas las especies comerciales de gramíneas, incluyendo el género *Brachiaria* y ocurre poco después de completarse las etapas básicas de desarrollo físico, dando lugar a variaciones en las semillas retenidas (Hopkinson *et al.*, 1998).



abcd Barras con letras no comunes difieren a  $P < 0,05$  (Kramer 1956) ( ) Valores reales

**Figura 1.** Media estimada del número de semillas llenas desgranadas de Yacaré en el primer (A) y segundo (B) periodo de floración, respectivamente.

El número de semillas llenas desgranadas en el primer y segundo periodo de floración en la variedad Yacaré (Figura 1) indica que en ambos periodos, el mayor ( $P < 0,0001$ ) número de semillas llenas desgranadas, ocurrió a los 19 días después de la antesis. Este resultado sugiere que alrededor de los 19 días ocurre el completamiento de los rasgos básicos de desarrollo físico de la mayoría de las semillas en las panículas. En los días anteriores, es posible que la mayoría de las semillas no haya alcanzado todavía su máximo desarrollo, quedando retenidas en las panículas y en consecuencia, el desgrane es muy poco. Esto expresa los valores negativos de la Figura 1 de acuerdo con el modelo empleado.

Durante el primer periodo (Figura 1) de floración no se encontraron diferencias significativas a los 11, 15 y 23 días; mientras que en el segundo periodo a los 11 días apareció el menor ( $P < 0,0001$ ) número de semillas llenas desgranadas.

El comportamiento del número de semillas llenas desgranadas por panícula, a los 11 días durante el primer periodo de floración, pudiera estar dado a que las precipitaciones entre los 7 y 11 días, fueron las mayores registradas durante dicho periodo experimental, lo que pudo haber traído consigo el desprendimiento acelerado de semillas, causando presumiblemente el desgrane de semillas que debían caer en los días posteriores. Sin embargo, el efecto de los indicadores del clima en la producción de semillas, en sentido general, está muy poco estudiado en Cuba, por lo que es difícil llegar a consideraciones particulares. (Febles *et al*, 2009).

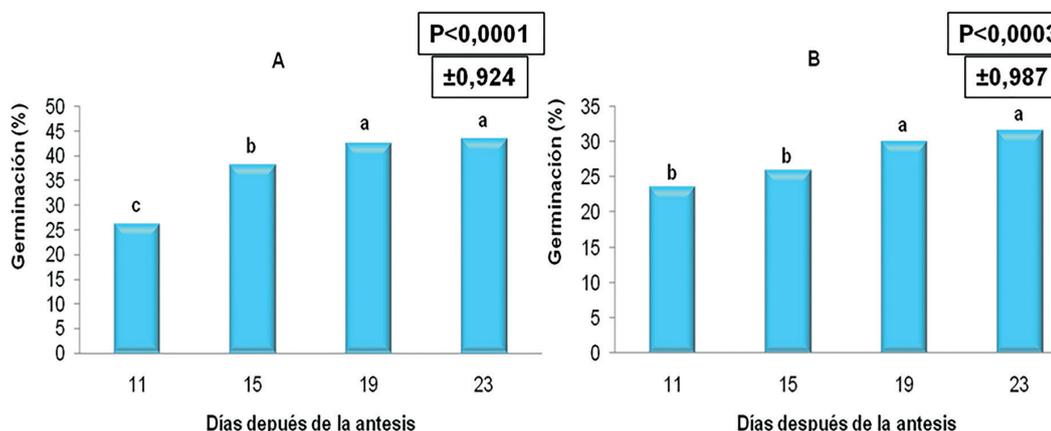
Al estudiar la producción de semillas de leguminosas tropicales, no se encontraron efectos de elementos del clima como el viento. Esto puede indicar que el híbrido Yacaré dispone de un amplio periodo durante el año, cuando puede producir un rendimiento de semillas.

Aunque se encontraron diferencias significativas en algunas comparaciones, la germinación como indicador biológico de calidad de las semillas de los pastos en sentido general, en los dos periodos de floración ( $P < 0,0001$  y  $P < 0,0003$ ) puede variar en el tiempo. En el híbrido Yacaré se aprecia (Figura 2) que el mayor porcentaje de germinación ocurrió también a partir de los 19 días, en los dos periodos de floración, manteniéndose estable hasta los 23 días ( $P < 0,0001$ ) y ( $P < 0,0003$ ), aunque siempre inferior a los 11 días después de la antesis. Este resultado sugiere que a los 19 días se alcanza la maduración de la mayoría de las semillas en las panículas, antes de este periodo es posible que algunas de las semillas llenas que desgranaron no estén maduras ni morfológica ni fisiológicamente. No obstante, no se observan grandes diferencias entre los 15 y 19 días. En general, los valores de germinación en ambos periodos se comportaron de forma similar a los reportados por (González *et al*, 1994) cuando estudiaron el efecto del

almacenamiento en la germinación en semillas de *B. Brizantha* (Hernández, 2010).

Respecto a la maduración morfológica o formación de la semilla (González & Mendoza, 1992) llevaron a cabo un experimento en Cuba con *Brachiaria decumbens* vc. Basilisk con ensayos de defectología y Rayos X. Los autores encontraron diferencias sustanciales en el proceso de formación de la semilla cosechada, concluyendo que existía heterogeneidad ya que solo el 37,7 % estaba completamente formado al momento de almacenar, 50 % medianamente formado y 5,5 % pobremente formado.

Este componente puede conducir a que en los diferentes momentos de cosecha y posterior almacenamiento no existe maduración morfológica. Es decir, que esta no se completa, independientemente del almacenamiento que se opere. Este resultado apoya aún más la necesidad de estudiar el momento de cosecha más preciso (González & Mendoza, 1992).



abc Barras con letras encima no comunes difieren a  $P < 0,05$  (Duncan, 1955)

**Figura 2.** Germinación de las semillas llenas desgranadas de Yacaré en el primer (A) y segundo (B) periodo de floración, respectivamente.

Estudios realizados en *Panicum maximum* por (Padilla & Febles, 1976) observaron un comportamiento igual que (González *et al.* 1987). Encontraron diferencias significativas en la germinación de las semillas de *B. decumbens* cosechadas en diferentes fases fenológicas.

## Conclusiones

Se pudo precisar que el momento más favorable para la cosecha de las semillas de *B.* híbrido vc. Yacaré y fue de manera general, en el intervalo comprendido entre 15 y 19 días después de la antesis, en ambos periodos de floración, lo que estuvo relacionado con la germinación.

El momento más favorable para la cosecha de las semillas corresponde con un cambio de coloración global de las semillas en el campo. Esto es de verde claro a marrón, lo que ocurre cuando las simientes alcanzan aproximadamente un 15 % de desgrane en la panícula.

## Recomendaciones

Desde el punto de vista práctico, las inflorescencias del híbrido Yacaré deben cosecharse cuando ocurre el 15 % de desgrane y un cambio de coloración de verde claro a marrón, lo que coincide con un intervalo entre 15 y 19 días después de haber ocurrido la antesis.

Ampliar los estudios por un periodo mayor de tiempo experimental con el híbrido Yacaré

y otras especies de interés, relacionando el comportamiento del rendimiento y el momento más favorable de cosecha de las semillas, en variedades e híbridos de pastos y forrajes.

## Referencias

- Duncan, D. B. (1955). Multiple range and multiple F tests. *Biometrics*. 11(1).
- Febles, G., Ruiz, T. E., & Baños, R. (2009). Efecto del clima en la producción de semillas de pastos tropicales de gramíneas. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*. 43:105.
- González, Y. & Mendoza, F. (1992). Determinación del momento óptimo de cosecha a las semillas de *Andropogon gayanus* CIAT-621. Pastos y Forrajes. 15:33.
- González, Y. (2000). Momento óptimo de cosecha de las semillas de *Brachiaria brizantha* cv. CIAT-16448. Pastos y Forrajes. 1.
- González, Y., Mendoza, F., Torres, R. (1994). Efecto del almacenamiento y la escarificación química y mecánica sobre las semillas de *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk. Pastos y Forrajes. 35:43.
- González, Y., Pérez, A. & Pérez, R. (1987). Determinación del momento óptimo de cosecha en *Brachiaria decumbens* vc. Basilisk. Pastos y Forrajes. Cuba. 10:212.

- Hernández, F. E. (2010). *Métodos de escarificación y prueba de envejecimiento acelerado en semillas de Brachiaria brizantha cv. Insurgente*. (Tesis de Maestro en Ciencias). Montecillo, Texcoco, Edo de México. 68 p.
- Hopkinson, M. J., De Souza, F. H., Diulgheroff, S., Ortiz, A. Sánchez, M. (1998). Fisiología Reproductiva, Producción de Semilla y Calidad de la Semilla en el Género *Brachiaria*. CIAT- EMBRAPA. Num. 295. p. 136.
- Joaquín, S., Joaquín, B. M., Ortega, E., Hernández, A., Pérez, J., Enríquez, J. F., Quero, A. R. (2010). *Evaluación de la distancia entre plantas sobre el rendimiento y calidad de semilla de Brachiaria brizantha*. Rev. Mex. Cienc. Perú; 1:297.
- Kramer, C. Y. (1956). *Extension of Multiple Range Tests to Group Means with Unequal Numbers of Replications*. Biometrics. 12. 307 p.
- Levene, H. (1960). *Robust tests for the equality of variance*. Contributions to Probability and Statistics. Stanford University Press. 278-292 p.
- Littell, R.C., Milliken, G.A., Stroup, W., Wolfinger, R. (1996). *SAS. System for mixed models*. SAS. Institute Inc. Cary, NC. 663 p.
- Matías, C. (1994). *Determinación del momento óptimo de cosecha en las semillas de Brachiaria brizantha cv. Marandú*. Estación Experimental de Pastos y Forrajes “Indio Hatuey”, Matanzas, Cuba. p 7.
- Padilla, C., Febles, G. (1976). *Determinación del momento óptimo de cosecha de la semilla de hierba de guinea (Panicum maximum Jacq.)* Revista Cubana de Ciencia Agrícola. Tomo 10. Mayabeque, Cuba.
- Pizarro, E., Hare, M., Mutimura, M., & Changjun, B. (2013). *Brachiaria hybrids: potential, forage use and seed yield*. Grupo Papalotla, semillas Papalotla. México. 4 p.
- SAS. (2007). *User’s guide statistics*. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.
- Shapiro, S. y Wilk, B. (1965). *An analysis of variance test for normality (complete samples)*. Biometrika. 52, 591 p.



## Instrucciones para los autores

**Escriba su Título en: Times New Roman 16, centrado. Debe colocar el título en español e inglés.**

**Para preparar su papel utilice directamente esta plantilla y simplemente reemplace este texto por su texto**

Smith J. A <sup>a</sup>, Ronald R. <sup>\*b</sup>, <apellido> <otros apellidos iniciales, si procede> <apellido, si hay más de una afiliación, entonces debe usarse afiliación a y b, el autor correspondiente con \* (pero no en el caso de autor único), letra Times New Roman 12 justificado al margen izquierdo.

a Afiliación y dirección, no email, letra Times New Roman 10

b Afiliación y dirección, no email, letra Times New Roman 10

Adams@domain.ex, sólo el correo electrónico para el autor correspondiente, justificado a la izquierda, Times New Roman 10

Estas instrucciones cumplen con las normas establecidas por la “*Journal of Research in Sciences Engineering - JRSE*”, para la publicación de los trabajos resultados de investigación aplicada. Los artículos deben estar escritos en pasado.

El título del manuscrito debe estar en “Caso del Título”, es decir, al escribir un nombre o un título, sólo debe usar letras mayúsculas para las palabras principales. No se debe usar letras mayúsculas para preposiciones, artículos o conjunciones a menos que sea la primera palabra.

El título debe ser seguido por la lista de autores en el formato dado arriba, que indica el autor correspondiente con un asterisco. En el caso de un solo autor, el asterisco no es necesario. Además, debe ser dada la afiliación del autor. Utilice solo una (principal) afiliación, la otra puede ser reconocida. Debajo de éstos, el email del autor correspondiente debe ser proporcionado. Nota - las palabras “email” o “e-mail” o “autor correspondiente” deben ser omitidos. En la línea para el correo electrónico del autor correspondiente ponga SOLAMENTE el email sin ningunas observaciones añadidas, marcas, y especialmente sin un asterisco.

El manuscrito debe comenzar, con un resumen del trabajo que refleje el alcance, objetivos, aspectos metodológicos, resultados y conclusiones. No encabece la sección abstracta con ningún

encabezado (por ejemplo: no indique la palabra Resumen). La sección de resumen es obligatoria y su extensión debe oscilar entre las 300 – 350 palabras.

Comience el primer párrafo abstracto 1,5 espacios debajo del correo electrónico del autor correspondiente. No inserte referencias en el resumen.

Cada manuscrito será publicado solamente en “Journal of Research in Sciences Engineering” si hay un acuerdo de transferencia de derechos de autor correspondiente que acompaña al manuscrito. Este acuerdo otorga a la revista sólo los derechos necesarios para proteger la publicación de uso indebido. Al recibir el correo electrónico para la aceptación final de su artículo, rellene, firme y envíe por correo electrónico una copia del formulario de transferencia de derechos de autor.

## **1. Formatee y escriba fuentes**

Para preparar su artículo, use directamente esta plantilla y substituya simplemente este texto por su texto. Estas instrucciones se deben seguir estrictamente y se recomienda utilizar los estilos indicados en este documento. NO use formato o estilos en su artículo diferentes de los mencionados aquí.

### **1.1 Formato**

Márgenes: margen interior 30 mm, margen exterior 25 mm, margen superior 30 mm y margen inferior 30 mm. Asegúrese de no exceder el área indicada. Cuando utilice el documento actual como una plantilla, no modifique la configuración de página.

El manuscrito debe tener una extensión de 8 PÁGINAS, incluyendo referencias y figuras. NO inserte números de página. NO utilice los encabezados ni los pies de página. Están reservadas para la edición técnica del volumen.

### **1.2 Tipo de fuente y tamaño del tipo en el cuerpo del trabajo**

La fuente prescrita es Times New Roman, 12 puntos, con un espaciado interlineado 1.15, a 1 columna, con sangría de primera línea con 1 cm de espacio en todos los párrafos y sangría francesa en la referencias.

Sin embargo, si su texto contiene expresiones matemáticas complicadas o fórmulas químicas, puede ser necesario aumentar el espaciado de línea. El texto en ejecución debe estar justificado. No utilice negrita o cursiva en el texto. Están reservados para los encabezados. Este es un requisito fundamental para mantener el alto nivel de la revista.

## **2. Encabezamientos de la sección**

La forma en que se muestran los títulos de las secciones y otros encabezados debe cumplir con las siguientes instrucciones:

- Nivel primario: Times New Roman, 14, Negrita, con espaciado antes y después de la rúbrica y/o párrafo.
- Niveles sucesivos: Times New Roman, 13, Negrita, con espaciado antes y después de la rúbrica y/o párrafo.
- NO comience una nueva sección directamente en la parte inferior de la página, sino que transfiera el título a la parte superior de la página siguiente.

### 3. Notas al pie

Por favor, no use notas a pie de página.

### 4. Unidades de medida, números

Por favor use el conjunto Sistema Internacional - SI de unidades tanto como sea posible. Minimice el uso de unidades no estándar o símbolos no estándar para esas unidades. Como ejemplo, el uso de “a” por año (año) se rechaza y se recomienda en cambio el uso de “y”. De manera similar y “t” en lugar de “tonelada” o “toneladas”. Es importante cuidar el caso en que se escriben las unidades de medida. P.ej. “Km” no significa “kilómetros”, sino “Kelvin-metros”.

Cuando proporcione valores numéricos seguidos de unidades de medida, deje un espacio regular o espacio no rompible entre cada valor y la unidad de medida. Esto también incluye porcentajes y grados Celsius (por ejemplo, 42% o 35%, 234°C, 504 K). Esta regla también se aplica a la unidad por litro, que se recomienda ser de capital “L”.

Se recomienda a los autores a colocar en los números el punto como separador decimal y la coma como separador de los millares. Utilice el estilo británico para números, es decir, 1.000.000 y no 1000000 o 1 000 000.

### 5. Ecuaciones

Escribir ecuaciones mediante editor de funciones en lugar de copiar y pegar una imagen. Asegúrese de que la colocación y numeración de las ecuaciones sea coherente a lo largo de su manuscrito. Las referencias a las ecuaciones deben ser como Eq (1).

$$(\rho_L - \rho_G) \cdot g \cdot V_B = \pi \alpha^2 \frac{\rho_L U_0^2}{2} \cdot f \quad (1)$$

Dentro de las ecuaciones, utilice la fuente Times New Roman, tamaño 12 pt como para el texto principal. Si esto es imposible, utilice por favor en el tamaño más pequeño de la fuente de 8 pt. Deje poco de espacio adicional por encima y por debajo de la ecuación dentro del párrafo de ecuación (recomendado agregar espacio antes y después), alinee a la izquierda la ecuación y ponga el número de la ecuación entre paréntesis en el margen derecho. Se recomienda utilizar tablas

sin líneas de cuadrícula, como se muestra en el ejemplo más adelante, ya que esto garantiza una correcta alineación vertical (medio).

## 6. Cifras y tablas

### 6.1 General

Las figuras y las tablas deben ser originales. Estas deben ser bien legibles sin ampliar con el zoom. Las ilustraciones serán en color en la versión electrónica y en blanco y negro en versión impresa. Los autores deben asegurarse de que las cifras sean legibles y comprensibles en escala de grises. Evite referenciar en su texto tomando como indicador los elementos de color de las figuras. Todos estos medios se perderán después de la impresión y creará malentendido al lector.

Las figuras y las tablas deben colocarse preferiblemente en la parte superior o en la parte inferior de la página. Por favor, no procese las tablas como imágenes, no utilice un tamaño de fuente pequeño en las tablas. No utilice tamaños de letra demasiado pequeños en las imágenes. Estas prácticas indebidas de redacción y estilo reducen la legibilidad severamente, afectando la comprensión por parte del lector.

Todas las figuras y tablas deben tener subtítulos con las etiquetas “Figura” y “Tabla”. Asegúrese de que las palabras de la etiqueta empiezan con letras mayúsculas. Las referencias cruzadas a las figuras y las tablas deben usar sólo etiqueta y número (etiquetas que también deben comenzar con mayúsculas).

Dentro de las figuras y las tablas por favor utilice la fuente Times New Roman, tamaño 12 pt como para el texto principal. En cifras, por favor evite usar marcos. Ambas figuras y sus subtítulos deben colocarse a la izquierda.

Las etiquetas de las Figuras y Tablas NO deben escribirse en negrilla.

### 6.2 Tablas

Establezca el número de la tabla y el título en la parte superior de la tabla. Las líneas horizontales deben colocarse encima y debajo de los encabezados de las tablas y en la parte inferior de la tabla. Las líneas verticales deben ser evitadas. El título debe usar Times New Roman 12 (el mismo tamaño de fuente que el texto principal), con espacio interlineado de 1 pt agregando espacio antes de párrafo, justificado a la izquierda en la parte superior de la tabla. Las tablas deben incluirse en el texto (deben ser citadas). Si una tabla es demasiado extensa para ajustar a una página, el número de la tabla y el encabezado deben repetirse en la página siguiente antes de continuar con la tabla. Alternativamente, la tabla puede estar distribuida en dos páginas consecutivas (primero una numerada par, luego una página impar) girada 90°, sin repetir el encabezado. No utilice fuente en negrita en tablas.

---

Tabla 1: Título de la tabla (Estilo: CET-título de la tabla)

---

Columna1	Columna 2	Columna 3
----------	-----------	-----------

---

El tamaño de la tabla puede ser editado

---

### 6.3 Leyendas de las figuras

Figura 1. Los subtítulos deben colocarse debajo de cada ilustración, fuente Times New Roman, cursiva, 12 pts, con espacio después del párrafo. Las figuras y los subtítulos deben colocarse a la izquierda; se pueden colocar dos figuras estrechas una al lado de la otra.

Asegúrese de que los subtítulos estén en la misma página con las figuras y tablas correspondientes. Por favor haga referencia a las figuras en el texto escribiendo: p. Figura 1. (NO utilice la abreviatura Fig.). El subtítulo debe comenzar con una letra mayúscula. Por favor, mantenga el subtítulo corto - teniendo preferiblemente 1 línea, máximo 2.

### 6.4 Referencias en el texto

Con el fin de dar a nuestros lectores una sensación de continuidad, les animamos a que citen artículos de la “Journal of Research in Sciences Engineering” de investigaciones similares en sus artículos en números anteriores.

Si necesita usar más referencias lo puede hacer mencionando 1 o 2 frases por referencia para mostrar cómo es diferente de los otros y por qué merece mencionar.

La cita en el texto para una fuente de literatura, está dada por el apellido del autor (es) seguido (s) por el año de publicación, p. “Guerrero (2016) ha informado..., que fue confirmado recientemente (Ortiz y Marín, 1986)”. Para las referencias con más de dos autores, las citas de texto deben ser acortadas al primer autor seguido de “et al.” Sin embargo, en la lista de referencias deben mencionarse los nombres y las iniciales de todos los autores, sin excepción. Se considera ético y políticamente correcto usar múltiples referencias en una secuencia, por tanto, dos o más referencias del mismo autor publicadas en el mismo año se diferencian por las letras “a, b, c, etc.” inmediatamente después del año como subíndice. Las referencias deben ser listadas en orden alfabético en la lista de Referencias.

## 7. Conclusiones

Es obligatorio presentar conclusiones en el manuscrito. Esto asegura la completitud de la presentación, así como proporciona a los lectores una idea sobre la importancia de los logros en el trabajo presentado. Las conclusiones deben señalar la importancia del trabajo presentado. Se aconseja que el razonamiento cuantitativo contenido, cuando proceda, compare los resultados obtenidos en el trabajo anterior o puntos de referencia adecuados. Por favor, no haga otro resumen.

## Referencia

No enumerar ni colocar viñetas en el apartado de Referencias.

Las referencias se presentan de acuerdo con el estilo de Harvard (nombre / año). Por favor asegúrese de que sus referencias sigan estrictamente las reglas aquí abajo reportadas. De lo contrario, no se aceptará su publicación en el volumen.

Cuando se haga referencia a los números de la página de los debates de la conferencia se debe proporcionar, cuando los procedimientos no están disponibles la identificación de la conferencia - p.

Cuando se hace referencia a sitios web, se debe proporcionar un autor o una institución de autoría. También se debe proporcionar la fecha del último acceso (Consultado: 30/10/2016 y el lugar donde se encuentra disponible (Disponible en: [www.aidic.it/cet/15/43/000.html](http://www.aidic.it/cet/15/43/000.html))

Los hipervínculos (color azul y subrayado) deben eliminarse de las direcciones de correo electrónico y las referencias web.

No es necesario repetir <http://> como navegadores modernos. Sin embargo, siempre se debe proporcionar la fecha del último acceso.

Para libros, tesis, informes, etc., indique el lugar y el país donde se publicó el libro.

Asegúrese de que todas las entradas de la lista de referencias se citan en el texto y que todas las citas en el texto tienen entradas en la lista de referencias.

Por ejemplo:

Bonzel H.P., Bradshaw A.M., Ertl G., Eds., 1989, *Physics and Chemistry of Alkali Metal Adsorption*. Elsevier, Amsterdam, the Netherlands

Hertel T., Over H., Bludau H., Gierer M., Ertl G., 1994a. The invention of a new solid surface, *Surf. Sci.* 301, 10-25.

Hertel T., Over H., Bludau H., Ertl G., 1994b, *Phys. Rev. B* 50, 8126. Kern K., 1994, *The Chemical Physics of Solid Surfaces*, vol. 7: Phase Transitions and Adsorbate Restructuring at Metal Surfaces, Eds. King D.A., Woodruff D.P., Elsevier, Amsterdam, the Netherlands.

Kjurkchiev N., Andreev A., 1990, Two-sided method for computation of all multiple roots of an algebraic polynomial, *Serdica* 15, 302-330 (in Russian).

Rico-Ramirez V., Napoles-Rivera F., Gonzalez-Alatorre G., Diwekar U., 2010, Stochastic optimal control for the treatment of a pathogenic disease, *Chemical Engineering Transactions*, 21, 217-222, DOI: 10.3303/CET11226001

WWF (World Wide Fund for Nature), 2002, Living planet report. Disponible en: [www.wwf.de](http://www.wwf.de)  
Consultado 20.01.2011

## A los autores

La revista *Journal of Research in Engineering Sciences* publica artículos que cumplen con los criterios internacionales de calidad académico-científica, en los cuales se presentan elementos relevantes como la referenciación bibliográfica, las metodologías con base en el diseño experimental científico y el soporte estadístico. Además, el soporte teórico en la discusión de los resultados y conclusiones que aporten al desarrollo sostenible de la sociedad y el ambiente.

Los trabajos que se presenten deben ser originales, inéditos, no estar a consideración de otra revista y su contenido debe ser responsabilidad exclusiva de los autores, sin comprometer en forma alguna a la revista. Así mismo, en ella se podrán publicar en inglés, los trabajos originalmente escritos en ese idioma, aunque el idioma oficial de la revista es el español. Se debe especificar a qué tipo de artículo corresponde la propuesta:

- a. **Artículo de investigación científica y tecnológica:** Documento que presenta, de manera detallada, los resultados originales de proyectos de investigación. La estructura generalmente utilizada contiene cuatro apartes importantes: introducción, metodología, resultados y conclusiones.
- b. **Artículo de reflexión:** Documento que presenta resultados de investigación desde una perspectiva analítica, interpretativa o crítica del autor, acerca de un tema específico, recurriendo a fuentes originales.
- c. **Artículo de revisión:** Documento resultado de una investigación donde se analizan, sistematizan e integran los resultados de investigaciones publicadas o no publicadas, sobre un campo de la ingeniería, haciendo énfasis en la sustentabilidad ambiental y en el desarrollo regional con enfoque territorial. Lo anterior, con el fin de dar cuenta de los avances y las tendencias de desarrollo. Se caracteriza por presentar una cuidadosa revisión bibliográfica de al menos, 50 referencias.

Los trabajos y la correspondencia pueden ser enviados al editor a la siguiente dirección:

Editor Journal of Research in Engineering Sciences  
e-mail. [suarez.deivis@uniagraria.edu.co](mailto:suarez.deivis@uniagraria.edu.co)  
Teléfono: 57 (1) 6671515 ext. 158

Facultad de Ingeniería y Ciencias Básicas  
Fundación Universitaria Agraria de Colombia- Uniagraria  
Calle 17o No. 54A - 10, Villa del Prado. Bogotá, Colombia.

El comité editorial de la publicación *Journal of Research in Engineering Sciences* considerará los siguientes aspectos para aceptar o rechazar en primera instancia los artículos elegidos para su publicación.

Solicitamos a nuestros colaboradores que tengan presente estas recomendaciones:

- a. El documento, con excepción de la primera página, no debe contener información que permita identificar a los autores.
- b. Los artículos deberán ser enviados a la revista en el formato establecido por la misma y en forma digital.
- c. Las notas de pie de página son de uso exclusivo de la editorial de la revista, no pueden ser empleadas con el fin de presentar la bibliografía.
- d. Los autores deben estar en la capacidad de suministrar la información requerida por parte de los evaluadores.
- e. Los artículos que desean postularse para publicación se recibirán continuamente todo el año, sin embargo el envío de los artículos no obliga al Comité Editorial de la revista *Journal of Research in Engineering Sciences* a realizar su publicación.
- f. Posteriormente se iniciará la evaluación con el envío de copia del material a dos expertos en el tema que sean miembros del Comité Científico Asesor, para que de manera independiente conceptúen sobre la posible publicación del trabajo, considerando los siguientes criterios: calidad o nivel académico, originalidad, aporte al conocimiento y a la docencia, claridad en la presentación, claridad de la redacción y de la literatura, interés y actualidad del tema.
- g. Una vez recogidas las evaluaciones, que pueden ser de aceptación plena, aceptación con modificaciones o rechazo, los resultados son comunicados al autor para que de ser necesario realice los ajustes o modificaciones correspondientes; cuando el autor incorpora las modificaciones solicitadas por los evaluadores, los artículos se envían a un corrector de estilo para iniciar con el proceso de edición.
- h. El artículo no puede aparecer en ningún medio masivo de comunicación, sin la autorización expresa de la Decanatura de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Básicas de la Fundación Universitaria Agraria de Colombia – Uniagraria.



## **Journal of Research in Engineering Sciences**

Publicación de la Fundación Universitaria  
Agraria de Colombia, UNIAGRARIA.  
Editado en la ciudad de Bogotá por  
Entrelibros e-book solutions  
Bogotá - 2016