

# **Reservas vegetativas, densidad de raíz y desarrollo de tubérculos de *Caladium bicolor* bajo la aplicación de productos orgánicos y hormonales**

Ixchel Abby Ortiz Sánchez

Tesis

Presentada como requisito parcial para optar el grado de Doctor en Ciencias Agrarias



Universidad Autónoma  
Agraria Antonio Narro  
Unidad Laguna

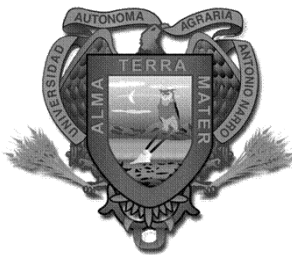
Torreón, Coahuila, junio de 2015

# **Reservas vegetativas, densidad de raíz y desarrollo de tubérculos de *Caladium bicolor* bajo la aplicación de productos orgánicos y hormonales**

Ixchel Abby Ortiz Sánchez

Tesis

Presentada como requisito parcial para optar el grado de Doctor en Ciencias Agrarias



Universidad Autónoma  
Agraria Antonio Narro  
Unidad Laguna

Torreón, Coahuila, junio de 2015

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**  
**SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO**

Reservas vegetativas, densidad de raíz y desarrollo de tubérculos de *Caladium bicolor* bajo la aplicación de productos orgánicos y hormonales.

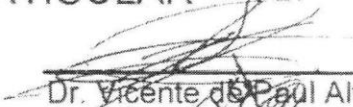
**IXCHEL ABBY ORTIZ SÁNCHEZ**

Elaborada bajo la supervisión del comité particular de asesoría y aprobada como requisito parcial para optar por el grado de

**DOCTOR EN CIENCIAS AGRARIAS**

**COMITÉ PARTICULAR**

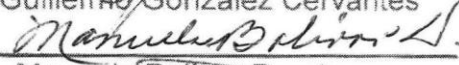
Asesor principal

  
Dr. Vicente de Paul Alvarez Reyna

Asesor

Dr. Guillermo González Cervantes


Asesor

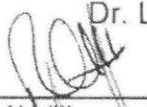
  
Dra. Manuela Bolívar Duarte


Asesor

Dr. Vicente Hernández Hernández

Asesor

  
Dr. Luis Manuel Valenzuela Núñez

  
Dr. Raúl Villegas Vizcaino  
Jefe del Departamento de Postgrado

  
Dr. Alberto Sandoval Rangel  
Subdirector de Postgrado

Torreón, Coahuila, junio de 2015.

## AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna por recibirme para realizar mis estudios de Doctorado en sus instalaciones.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), por el apoyo económico otorgado durante estos tres años para la realización de los estudios de doctorado.

Al Ph. D. Vicente De Paul Álvarez Reyna por aceptar ser mi asesor principal en el desarrollo del proyecto de investigación, por su enseñanza, experiencia, colaboración, consejos y amistad.

Al Dr. Guillermo González Cervantes por ser Co-asesor y guía en el proyecto de investigación, además por su valiosa enseñanza, consejos y amistad invaluable.

Al Dr. Luis Manuel Valenzuela, por su asesoría, aceptación en el laboratorio de la UJED y sobre todo por su gran amistad.

A la Dra. Manuela Bolívar y Ph.D. Vicente Hernández, por formar parte importante en mi formación, preparación académica y personal.

Un especial agradecimiento al Sr. Oscar Villareal por ser parte importante en el financiamiento para la realización de este proyecto, además de confiar en nuestras manos su proyecto de *Caladium bicolor*, gracias por todo.

A la M.C. Carmen Potisek por su gran amistad y apoyo incondicional.

Al personal administrativo de la UAAAN-UL en especial a Esther Peña por su apoyo y amistad.

A mi compañera y amiga Rosario Moncayo, por su incondicional apoyo en mis estudios.

## DEDICATORIAS

El presente trabajo va dedicado especialmente a las personas que forman parte importante de mi vida y son todo para mí, ya que sin ellas el camino a la obtención de grado hubiera sido muy difícil.

A Dios por guiarme en el camino del conocimiento, darme la fuerza, sabiduría, vida y salud necesaria para poder lograr una meta profesional más.

A mi esposo Jorge, motivo e inspiración para seguir adelante sin dejarme vencer por las adversidades de la vida, por su amor, apoyo, consejos y confianza otorgada para la realización de mis estudios.

A mis hijos Jorge Alberto y Luis Gabriel, por su inocencia, ternura, amor y ser uno de los motivos más importantes por los cuales he de luchar sin desaliento toda mi vida.

A mis padres Gabriel e Irma, por haberme dado la oportunidad de vivir, ser unos grandes padres y gran ejemplo, así como mis hermanos Gabriel y Nora. Gracias familia por su apoyo incondicional y compañía en todo momento.

A la familia Chávez Simental, Fernández Chávez, Velázquez Chávez y Andrade Chávez por considerarme miembro de su familia, por el apoyo, confianza y compañía que son invaluable para mí.

**¡MUCHAS GRACIAS!**

## COMPENDIO

### **Reservas vegetativas, densidad de raíz y desarrollo de tubérculo de *Caladium bicolor* bajo la aplicación de productos orgánicos y hormonales**

POR:

IXCHEL ABBY ORTIZ SÁNCHEZ

DOCTORADO EN CIENCIAS AGRARIAS

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

UNIDAD LAGUNA

La introducción de nuevos cultivos ornamentales a la Comarca Lagunera, en la actualidad es una gran oportunidad de mercado para los productores de planta ornamental, tal es el caso de *Caladium bicolor*. Cultivo ornamental nativo de Brasil y Guayana, así como de regiones vecinas de Centro y Sudamérica. Plantas, que por su belleza y variedad de colores, son utilizadas para el embellecimiento del paisaje urbano incluyendo plazas y jardines, por lo que se exportan anualmente desde hace tiempo hacia Europa, Estados Unidos, incluyendo las Islas del Caribe, y la región tropical de África (Betancur *et al.* 2007). Es un cultivo de hoja caduca que se desarrolla anualmente en tres etapas principales las cuales son brotación, floración y dormancia. La forma de reproducción comercial de este cultivo es a través de tubérculos, los cuales son los órganos de almacenamiento de nutrimentos durante un período de abundancia denominados reservas vegetativas; estas reservas permanecen

latentes con el fin de estar disponibles para el ciclo posterior y son aprovechadas después de la dormancia con la finalidad de obtener mayor número de plantas. Las principales reservas son carbohidratos, almidón y proteínas. Estudios sobre el uso de productos orgánicos derivados del estiércol de ganado bovino para la fertilización, han demostrado que se pueden alcanzar altos rendimientos en los cultivos, lo que se refleja en grandes beneficios económicos para el productor. De igual manera, los productos hormonales son sustancias que se sintetizan en la planta y se traslocan hacia todos los órganos vegetales donde actúan a muy bajas concentraciones, regulando su crecimiento, desarrollo y metabolismo. Con la finalidad de evaluar la factibilidad de introducir el cultivo de *C. bicolor* a la Comarca Lagunera, se estudiaron protocolos de propagación y reproducción de planta en invernadero utilizando para su fertilización productos orgánicos y hormonales; para evaluar su capacidad de adaptabilidad a las condiciones climáticas de ésta región; se monitoreó su ciclo vegetativo haciendo uso de herramientas de precisión como análisis de imagen y espectrofotometría UV-Visible.

Por lo anteriormente descrito, en el presente trabajo de investigación se indujo el crecimiento de tubérculos y densidad de raíz de *C. bicolor* mediante la aplicación de productos orgánicos (dosis de 4 y 8 ml l<sup>-1</sup>) y hormonales (auxinas 30 ppm, citocininas 30 ppm y su combinación); así mismo, se analizó la concentración de reservas nutrimentales almacenadas en los tubérculos (proteínas y almidones) en las diferentes etapas fenológicas del cultivo.

Los resultados obtenidos mostraron diferencia entre la fertilización con productos orgánicos y los hormonales, en las variables de crecimiento de

tubérculo, densidad de raíz y contenido de reservas vegetativas (proteínas y almidón). El tubérculo incrementó su tamaño en un 104.51 por ciento respecto al tamaño inicial, contando con un área de raíz de 83,795 mm<sup>2</sup> fertilizado con una dosis de 8 ml l<sup>-1</sup> de producto orgánico. En lo que respecta a las reservas vegetativas, los tratamientos con 8 y 4 ml l<sup>-1</sup> de producto orgánico en la etapa de dormancia, presentaron mayor concentración de almidón con 885.18 y 833.97 mg g<sup>-1</sup> de MS respectivamente. Por otra parte, se obtuvo la mayor concentración de proteínas solubles en los tratamientos de 4 y 8 ml l<sup>-1</sup> de fertilización de producto orgánico en la etapa de floración con 156.04 y 150.54 mg g<sup>-1</sup> de MS respectivamente.

En la etapa de dormancia aumentaron considerablemente las cantidades de almidón, ya que los tubérculos de *C. bicolor* requieren de un periodo de acomodación y regulación fisiológica denominado dormancia, para lograr activarse nuevamente y así generar nuevos brotes para continuar con la sobrevivencia de la especie. Respecto a las proteínas debido que la planta presentó mayor número de hojas lo que se traduce a una mayor actividad fotosintética y por lo tanto mayor producción de proteínas en la etapa de floración en comparación a la etapa de dormancia cuando el tubérculo ya no cuenta con hojas. En base a los resultados obtenidos en la presente investigación, se concluye que el desarrollo del cultivo alcanzado mediante la implementación de los protocolos de propagación estudiados, son óptimos para considerar la posibilidad de introducir el cultivo de *C. bicolor* a la Comarca Lagunera, lo que puede representar una nueva alternativa para los productores



de plantas de ornato dedicados a su producción, comercialización y exportación.

**Palabras clave:** *Caladium bicolor*, cultivo ornamental, reservas vegetativas, espectrofotometría UV-visible, análisis de imagen.

## ABSTRACT

### **Vegetative reserves, density root and tuber development of *Caladium bicolor* with application of organic and hormonal substances**

By:

IXCHEL ABBY ORTIZ SÁNCHEZ

DOCTORATE'S DEGREE IN AGRARIAN SCIENCES

ANTONIO NARRO AGRARIAN AUTONOMOUS UNIVERSITY

LAGUNA UNIT

Introduction of ornamental plants to the Comarca Lagunera, is a great market opportunity for producers, one of these plants is *Caladium bicolor*. This plant is native from Brazil and Guyana, as well as neighboring regions of Central and South America. These plants, due its beauty and variety of colors are used for ornamental purposes in urban landscape, including parks and gardens. Plants are exported annually to Europe, America, including the Caribbean islands and Africa (Betancur *et al.* 2007). It is an annual plant which develops each year in 3 main stages: budding, flowering and dormancy. Commercial reproduction is through tubers, which are storage organs of nutrients over a period of abundance named vegetative reserves; these reserves are available for the subsequent vegetative cycle and are exploited after dormancy in order to obtain more plants. Main reserves are carbohydrates, starch and protein. Studies on the use of organic products derived from cattle manure for

fertilization, have shown that it can achieve high crop yields, as reflected in major economic benefits to the producer. In the same way, hormone products are substances synthesized in plant and translocated to whole plant organs which act at very low concentrations, regulating its growth, development and metabolism. In order to evaluate introducing feasibility of *Caladium bicolor* in the Comarca Lagunera, plant propagation and reproduction protocols in greenhouse were studied using organic fertilization and hormonal products; to evaluate their ability to adapt to climatic conditions of this region, its vegetative cycle was monitored using precision tools such as image analysis and UV-Visible spectrophotometry.

As described above, in this research the growth of tubers and root density of *Caladium bicolor* was induced by applying organic products (doses of 4 and 8 ml L<sup>-1</sup>) and hormone (auxin 30 ppm and cytokinins 30 ppm and its combination); likewise, concentration of nutrient reserves stored in tubers (proteins and starches) in different phenological stages of the crop was analyzed.

Results showed no difference between fertilization with organic products and hormone on growth variables tuber, root density and content of vegetative reserves (protein and starch). Tuber increased in size by 104.51% over the initial size, having a root area of 83.795 mm<sup>2</sup> fertilized with a dose of 8 ml L<sup>-1</sup> of organic product. In vegetative reserves, treatments with 8 and 4 ml L<sup>-1</sup> of organic product in dormancy stage had higher concentration of starch with 885.18 and 833.97 mg g<sup>-1</sup> DM respectively. Moreover, the highest concentration of soluble proteins in treatments 4 and 8 ml L<sup>-1</sup> organic fertilizer product in the flowering stage with 156.04 and 150.54 mg g<sup>-1</sup> DM respectively were obtained.

At dormancy stage starch amounts significantly increased, as tubers *Caladium bicolor* require a period of accommodation and physiological regulation, to achieve active again and generate new growth to let continue the survival of species. In protein concentration, plants showed a higher number of leaves which leads to increase photosynthetic activity and therefore higher protein production in flowering compared to dormancy stage when the tuber no longer had leaves.

According to results obtained in this investigation, it is concluded that crop development achieved by implementing the propagation protocols studied, are optimal to consider the possibility of introducing the cultivation of *Caladium bicolor* in the Comarca Lagunera, which can represent a new alternative for ornamental plants producers to production, marketing and export.

**Keywords:** ornamental plants, vegetative reserves, UV-visible spectrophotometry, image analysis.

## ÍNDICE GENERAL

|   |    |
|---|----|
| COMPENDIO   |    |
| ABSTRACT  |    |
| INTRODUCCIÓN  | 1  |
| HIPÓTESIS   | 2  |
| OBJETIVOS   | 2  |
|   |    |
| CAPÍTULO 1. REVISIÓN DE LITERATURA                            |    |
| 1.1 Aspectos generales del cultivo de <i>Caladium bicolor</i> | 3  |
| 1.2.1 Clasificación taxonómica                                | 4  |
| 1.2.2 Características morfológicas                            | 4  |
| 1.2.3 Características fisiológicas                            | 7  |
| 1.2.4 Requerimientos ambientales                              | 10 |
| 1.2.5 Manejo agronómico                                       | 11 |
| 1.2 Productos orgánicos                                       | 13 |
| 1.2.1 Materia orgánica  | 13 |
| 1.2.2 Proceso de compostaje y humificación                    | 14 |
| 1.2.3 Sustancias húmicas (ácidos húmicos y fúlvicos)          | 15 |
| 1.3 Productos hormonales                                      | 16 |
| 1.3.1 Auxinas   | 17 |
| 1.3.2 Citocininas   | 19 |
| 1.3.3 Relación de auxinas/citocininas                         | 21 |
| 1.4 Reservas vegetativas                                      | 22 |

|                               |  |     |
|-------------------------------|--|-----|
| 1.4.1                         | Carbohidratos y almidón  | 23  |
| 1.4.2                         | Proteínas  | 25  |
| 1.5                           | Análisis de imagen   | 26  |
| 1.6                           | Espectrofotometría UV-Visible  | 28  |
| CAPÍTULO 2. ARTÍCULOS         |  | 34  |
| 2.1                           | CONCENTRACIÓN DE ALMIDÓN Y PROTEÍNAS SOLUBLES EN TUBÉRCULOS DE <i>Caladium bicolor</i> EN DIFERENTES ETAPAS FENOLÓGICAS  | 35  |
| 2.2                           | ESTUDIO DEL USO DE SUSTANCIAS ORGÁNICAS PARA INDUCIR CRECIMIENTO EN RAÍZ Y TUBÉRCULO CARACTERIZADAS POR ESPECTOFOTOMETRÍA INFRARROJA Y ANÁLISIS DE IMAGEN (Estudio de caso <i>Caladium bicolor</i> ) | 47  |
| 2.3                           | INDUCCIÓN DE CRECIMIENTO EN RAÍZ Y TUBÉRCULO MEDIANTE LA APLICACIÓN DE PRODUCTOS ORGÁNICOS Y HORMONALES (Estudio de caso <i>Caladium bicolor</i> )   | 65  |
| CAPÍTULO 3. CONCLUSIÓN        |  | 83  |
| CAPÍTULO 4. LITERATURA CITADA |  | 84  |
| CAPÍTULO 5. ANEXOS            |  | 103 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1. Componentes del laboratorio de imagen | 27 |
| Figura 2. Espectro electromagnético             | 30 |
| Figura 3. Espectrofotómetro                     | 31 |

## INTRODUCCIÓN

En la Comarca Lagunera existen aproximadamente 500 mil cabezas de ganado, que generan 1,200 toneladas de estiércol por año (Pérez, 2008) las cuales son reutilizadas como productos orgánicos para evitar un foco de infección y contaminación. A estos productos orgánicos se les atribuye el mejoramiento de la calidad de cultivos, como en papa, donde mejora la distribución de los almidones y en trigo, donde aumenta los contenidos de proteínas, las cuales son reservas vegetativas que los cultivos requieren para un desarrollo óptimo. Estos residuos pueden utilizarse para la producción de *Caladium*, planta de gran valor ornamental que es exportada desde hace tiempo a Europa, Estados Unidos, incluyendo las islas del Caribe, y alcanza la región tropical de África (Betancur *et al.* 2007); su producción no se limita exclusivamente a las zonas tropicales de las cuales es originaria, sino que con mejor técnica de almacenamiento de tubérculos, se desarrolla en condiciones de jardín aún en condiciones de ambiente seco (Mayol *et al.*, 1997). Esta especie se reproduce por medio de tubérculos, órgano importante al igual que la raíz, ya que en el primero es en donde acumula sus reservas vegetativas para el próximo ciclo vegetativo y la raíz, por donde transporta los nutrimentos.

El uso de técnicas de aproximación como la espectrofotometría UV-Visible y análisis de imagen han sido de gran utilidad tanto para la investigación como para los productores, ya que con esto se puede hacer un acercamiento a las reacciones bioquímicas que realiza la planta para llevar a cabo las



funciones fisiológicas de su desarrollo y de esta manera optimizar el manejo de los cultivo. La espectrofotometría UV-visible determina las concentraciones de elementos químicos en las plantas que intervienen en su desarrollo fisiológico. La técnica de análisis de imagen es utilizada para determinar los cambios morfológicos de las diferentes áreas y órganos vegetales mediante imágenes digitales, lo cual permite monitorear el crecimiento y desarrollo de la planta.

Por lo anteriormente expuesto los objetivos planteados fueron:

## **OBJETIVOS**

- ✓ Inducir el crecimiento de tubérculos y densidad de raíz de *Caladium bicolor* mediante la aplicación de productos orgánicos y hormonales.
- ✓ Monitorear las reservas nutrimentales almacenadas (Proteínas y Almidón) en las diferentes etapas fenológicas del “*Caladium bicolor*”

## **HIPÓTESIS**

- ✓ El crecimiento de tubérculos y densidad de raíz de *Caladium bicolor* no es afectado por la aplicación de productos orgánicos y hormonales.
- ✓ Las reservas nutrimentales almacenadas (proteínas y almidón) es igual en las diferentes etapas fenológicas del *Caladium bicolor*.

## **CAPÍTULO 1. REVISIÓN DE LITERATURA**

## **1.1. Aspectos generales de *Caladium bicolor***

El género *Caladium* comprende 12 especies (Mayol *et al.*, 1997), de las cuales *Caladium bicolor* es la principal, es nativo de Brasil y Guayana y regiones vecinas de Sudamérica y de Centroamérica. *C. bicolor* es un género de plantas con flores perteneciente a la familia Araceae; este cultivo es conocido popularmente como "oreja de elefante y/o corazón de Cristo" (tienen una estrecha relación con los géneros *Alocasia*, *Colocasia*, y *Xanthosoma*) (Idárraga *et al.*, 2011). Existen aproximadamente 1000 variaciones de *Caladium bicolor* desde el original de Sudamérica.

Esta especie es una planta herbácea con tubérculos; las hojas son radicales, es decir, nacen directamente del tubérculo, aparecen al final de largos tallos, el color es muy variado: sobre una base verde, de distinta tonalidad, se alternan matices muy delicados que van desde el marfil al rosa, del blanco al carmesí o rojo, con dibujos de muchas formas.

Son plantas exportadas desde hace tiempo hacia Europa, Estados Unidos, incluyendo las islas del Caribe, y alcanza la región tropical de África (Betancur *et al.*, 2007), que han sido objeto de un intenso trabajo de mejora genética consiguiéndose híbridos de increíble valor decorativo.

### **1.1.1. Clasificación**

El *Caladium bicolor* es una planta ornamental caducifolia. Su clasificación es la siguiente (Ventenat, E. P. 1800):

|          |                         |
|----------|-------------------------|
| Dominio: | Eucaria                 |
| Reino:   | Plantae                 |
| Filo:    | Angiospermophyta        |
| Clase:   | Liliopsida              |
| Orden:   | Alismatales             |
| Familia: | Araceae                 |
| Género:  | <i>Caladium</i>         |
| Especie: | <i>Caladium bicolor</i> |

### **1.1.2. Características morfológicas**

*Caladium bicolor* es una planta ornamental de hoja caduca, pierde sus hojas de forma sincronizada en Otoño-invierno, como adaptación climática, comenzando así la etapa de dormancia. Alcanza de 40-90 cm de altura, se origina desde un rizoma globoso. Son excelentes plantas de jardín y maceta (Deng y Harbaugh, 2006) cultivadas por sus hojas de colores, en forma de una flecha o en forma de corazón, usualmente de 20 a 40 cm de largo, variadamente coloreadas, con puntos o manchas rojo, rosado, blanco o los tres colores, agrupadas en un espádice de 6 a 10 cm de largo, el cual esta subtendida por una espata blanquecina.

El sistema radical que presenta este cultivo es tuberoso-fibroso, donde el órgano de reserva es el tubérculo. Las principales actividades de las raíces son

absorción y síntesis. Los pelos radicales incrementan la superficie de absorción (Catlin, 1998).

La raíz desempeña funciones elementales para el óptimo desarrollo de las plantas: anclaje, absorción de agua y nutrimentos, síntesis, almacenamiento y excreción de sustancias orgánicas.

**a). Anclaje.** La raíz puede desempeñar el anclaje de las plantas en el suelo; el anclaje es más efectivo cuando el sistema radical es más profundo y diseminado. Estas condiciones se dan preferentemente cuando la planta es vigorosa. El anclaje deficiente de plantas pueden ser ocasionados por enfermedades radicales, suelo muy compactado o problemas ambientales del suelo, y son muy susceptibles a caer debido a fuertes vientos (Muncharaz, 2001).

**b). Absorción.** Los sistemas radicales profundos y extensos son los más adecuados para desarrollar la función de absorción de agua y nutrimentos del suelo. La absorción de agua depende de las fuerzas físicas en el suelo y del interior de la planta. La absorción de nutrimentos requiere de la energía obtenida en la respiración y tiene lugar en células y tejidos característicos de la región final de la raíz (Muncharaz, 2001).

**c). Síntesis.** El nitrógeno que se pierde anualmente a través de la cosecha, hojas y poda, debe ser repuesto. El nitrógeno es absorbido del suelo

como nitrato y es reducido en amoniaco. Los carbohidratos de las puntas se convierten en ácidos orgánicos, amidas y aminoácidos, las unidades básicas de las proteínas y las formas en las que el nitrógeno es trasportado a los brotes. Los precursores de crecimiento de giberelinas y citocininas se forman en los ápices radicales, desde donde son trasportados a la parte aérea en el flujo de transpiración. Estas sustancias ayudan a regular la actividad vegetativa y reproductiva. El ácido abscísico, inhibidor del crecimiento que es producido en las células de las puntas de las raíces en respuesta a determinado estrés, tal como déficit hídrico, puede trasladarse a las hojas y disminuir las pérdidas de CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O por los estomas. El precursor del etileno en las raíces (ácido 1 carbólico 1 aminociclopropano) que producen las plantas (ACC), es especialmente importante por formarse en respuesta a deficiencia de oxígeno. El ACC se traslada a la parte aérea del árbol donde se convierte en etileno, el cual produce la senescencia y caída de las hojas (Muncharaz, 2001).

**d). Almacenamiento.** Una vez que el cultivo de *C. bicolor* entra en la etapa de dormancia, el tubérculo se encarga de almacenar los nutrimentos que serán requeridos para generar nuevos brotes en el siguiente ciclo vegetativo. El carbono se almacena como almidón y carbohidratos solubles. Sustancias que se convierten en compuestos que actúan como intermediarios metabólicos que proporcionan sustratos para la respiración, energía para la producción y unidades básicas para el crecimiento y estructuración de las raíces. Parte del nitrógeno que se almacena principalmente en forma de aminoácidos y

proteínas, es absorbido al final del Verano y Otoño. La acumulación de reservas en esta época, es particularmente importante para la floración y reinicio del crecimiento en la Primavera siguiente. Este almacenamiento depende del suministro fotosintético producido en las hojas, por lo que las condiciones que afecten la fotosíntesis serán potencialmente dañinas para las funciones de la raíz (Muncharaz, 2001).

*C. bicolor* produce inflorescencias en Verano. La inflorescencia es simple, axilar, cilíndrica, más delgada hacia la mitad, de color blanco o crema. El pedúnculo de la inflorescencia mide de 17.5 a 26 cm de largo y es de color blanco o verde. La bráctea de la inflorescencia es solitaria, con márgenes envolventes, amarilla hacia la base y verde hacia el ápice. Las flores están agrupadas y muy pequeñas. El fruto es carnoso, de color blanco, lampiño y contiene poca semilla (Betancur *et al.*, 2007).

### **1.1.3. Características fisiológicas**

En el ciclo vegetativo de *C. bicolor*, tiene tres etapas fisiológicas, que son las siguientes:

**a) Brotación:** La brotación del tubérculo tiene lugar a través de una de las yemas del cono apical, generalmente la más vieja, que suele ser la más grande. Para que se produzca esta brotación es necesario que el tubérculo haya alcanzado un cierto estado de madurez fisiológica. En condiciones normales, la yema más antigua es la primera que rompe la latencia. Si por

cualquier circunstancia los brotes primarios quedan dañados, surgen nuevas brotaciones procedentes de yemas situadas por debajo de las anteriores. Es importante señalar que el 60 por ciento del peso seco del tubérculo, en forma de azúcares, aceites, proteínas y almidón es consumido en la germinación del primer brote. Por lo que son de gran importancia las reservas nutricionales que acumule el tubérculo durante su ciclo vegetativo.

De las brotaciones de un tubérculo madre se forman, en primer lugar, tallos subterráneos, llamados rizomas determinados, que van creciendo paulatinamente hasta que llega un momento en que su crecimiento queda paralizado, formándose a una profundidad variable, normalmente escasos centímetros, un órgano de crecimiento llamado bulbo basal, constituido por el alargamiento de hojas escamosas del rizoma que engloban las partes adyacentes del mismo y del que surge la planta madre. Del mencionado bulbo basal surgen, asimismo, raíces y rizomas indeterminados o secundarios, que crecen ininterrumpidamente hasta formar otros bulbos basales secundarios o bien tubérculos.

**b) Floración.** Esta etapa se presenta en verano, produce inflorescencias perfumadas en espádice, a la flor se le llama bráctea, ya que son hojas modificadas llamadas espatas que envuelven las flores y las inflorescencias para protegerlas y en general son blancas o verdes, amplias hacia el extremo y terminando en una punta encorvada hacia abajo.

**c) Dormancia.** El receso o dormancia es parte del ciclo de las plantas de hoja caduca y su inducción coincide con el inicio de las bajas temperaturas del otoño junto al acortamiento del largo del día (Yuri, 2002; Gardner, 2006). La duración de este período depende entre otras cosas de la especie y variedad. A su vez, dentro de un individuo, varía en función del tipo de yema, su ubicación en la planta y la edad (Yuri, 2002). Powell *et al.* (2002), coinciden en la caída de la temperatura como un indicador de la entrada en dormancia y agregan como síntomas, la caída de las hojas y cese de crecimiento visible, señalando además la ocurrencia de otros cambios menos visibles. El requerimiento de un período de frío en invierno en plantas de hoja caduca se le conoce de varias formas, como ser dormancia, receso o latencia (Frías, 2006). Sugiere que éste último término estaría expresando en mejor forma al estado de reposo de la planta ya que ésta sigue manteniendo actividad referida al desarrollo de yemas y movimiento de reservas.

En *C. bicolor* en esta etapa prácticamente no hay crecimiento; las hojas comienzan a secarse y caerse al igual que las raíces, donde solamente queda el tubérculo. Se ha generado conocimiento reciente acerca de los efectos del estado de dormancia del tubérculo sobre la expresión de genes, niveles de proteína, actividad enzimática y contenido hormonal. Sin embargo, los procesos fundamentales que controlan la transición entre la detención del ciclo celular (depresión metabólica) y la reanudación del crecimiento de los meristemas y su actividad metabólica continúan sin conocerse por completo (Suttle, 2007).



El periodo de dormancia está regulado por una red compleja de reacciones metabólicas que ocurren en el citosol y los plastidios, con evidencias que sugieren que la regulación de la síntesis está determinada por el estado metabólico celular, factores genéticos y ambientales (Baguma *et al.*, 2003; Mukerjea y Robyt, 2005). Se considera que el fenómeno de dormancia o detención del metabolismo (desarrollo) es una estrategia que favorece la supervivencia del tubérculo en condiciones de estrés ambiental (Suttle, 2007).

La dormancia del tubérculo está definida como la ausencia de crecimiento visible de los brotes. La dormancia total se induce con la tuberización y se prolonga hasta el inicio de la brotación, aunque, comúnmente y para fines prácticos, se utiliza el término dormancia en poscosecha, la cual empieza en el momento de la separación del tubérculo de la planta madre (Malagamba, 1997). En muchos estudios la duración del periodo de dormancia del tubérculo se ha medido utilizando la fecha de cosecha como punto de inicio. Sin embargo, en condiciones de campo, la fecha de cosecha puede variar de acuerdo con otros parámetros no relacionados, como fecha de siembra, clima y condiciones de campo (Suttle, 2007).

#### **1.1.4. Requerimientos ambientales**

*C. bicolor*, se desarrolla en países de clima muy cálido y con atmósfera rica en humedad, es una planta originaria de selvas pluviales, no quiere la luz directa del sol. Tiene en todo caso necesidad de una buena iluminación para mantener la vena de las hojas.

La temperatura óptima está entre 20 a 30 °C de día y alrededor de 18 °C durante la noche. Por debajo de 15 °C la planta comienza a sufrir deterioros y con 2 o 3 °C puede morir. Tiene necesidad de un entorno bien ventilado pero sin corrientes de aire. La humedad relativa para este cultivo debe ser entre 75-80 por ciento.

#### **1.1.5. Manejo agronómico**

EL manejo agronómico del *C. bicolor* es el siguiente (Whistler, 2000):

##### **a) Propagación**

La planta se puede multiplicar por tubérculos, semilla y cultivo *in vitro*. La multiplicación por semilla se utiliza en la mejora genética, ya que proporciona plantas muy variables. La multiplicación *in vitro* se utiliza para obtener planta madre libre de virus. Comercialmente se acude al sistema más rápido, que es la división de los tubérculos.

##### **b) Suelo o Sustrato**

Requiere un suelo o sustrato poroso y rico en materia orgánica, con temperatura mínima de 20 °C mientras brota el tubérculo, pudiendo descender posteriormente a 16-18 °C.

##### **c) Riego**

El *Caladium* debe ser regado a menudo durante el período Primavera-Verano. Asegurándose que la superficie del terreno esté seca entre un riego y

otro. Durante el período Otoño-Invierno, cuando las hojas caen de la planta sólo queda el tubérculo, se suspende completamente el riego.

#### **d) Fertilización**

Durante el período primavera - verano, se abona cada dos semanas utilizando un fertilizante líquido diluido con el agua de riego. Se requiere suministrar un abono que además de contener "macroelementos" (Nitrógeno (N), Fósforo (P) y Potasio (K)), también contenga "microelementos" como el Magnesio (Mg), el Hierro (Fe), el Manganeseo (Mn), el Cobre (Cu), el Zinc (Zn), el Boro (B), el Molibdeno (Mo), todos importantes para un correcto y equilibrado crecimiento de la planta.

#### **e) Plagas y enfermedades**

La principal enfermedad es la pudrición del tubérculo debida a varios hongos del suelo. La falta de humedad ambiental propicia la aparición de ácaros, y las orugas de ciertos insectos pueden depreciar la planta al dañar las hojas. También son susceptibles al ataque de nemátodos.

#### **f) Cosecha y conservación**

Durante el invierno los tubérculos de *C. bicolor* se encuentran en la etapa de dormancia en donde se pueden almacenar para volver a sembrarlos en la primavera siguiente. Una vez que la planta se defolia, se desentierran los tubérculos; ésto es, cuando la temperatura esta debajo de los 18°C. Los bulbos

se lavan muy bien y se secan en un lugar cálido y seco; se debe de mantener la temperatura de secado entre 21 y 26 °C. Cuando los bulbos estén secos se almacenan a una temperatura de 21 °C en un lugar oscuro y seco para su conservación. En la Primavera, cuando la temperatura ambiental haya alcanzado más de 18°C, los bulbos pueden ser plantados directamente en la tierra o maceta.

## **1.2. Productos orgánicos**

La Región Lagunera es una de las principales cuencas lecheras de México con 500,000 cabezas de ganado bovino lechero, y una producción de estiércol que llega a 1, 200,000 toneladas por año. Lo anterior ha llevado a reutilizar estos desechos como fertilizantes orgánicos después de la descomposición de la materia orgánica para evitar contaminación ambiental. Los abonos orgánicos no sólo mejoran las condiciones físicas del suelo, sino que aportan una cantidad importante de nutrimentos a las plantas y reduce los costos de producción (González, 2005).

### **1.2.1. Materia orgánica**

El término materia orgánica, se refiere a la suma total de las sustancias orgánicas que contienen carbono; consiste en una mezcla de residuos de plantas y animales en varios estados de descomposición, sustancias sintetizadas microbiológica y/o químicamente de los productos de descomposición y los cuerpos de microorganismos vivos y muertos así como

sus remanentes en descomposición (Schnitzer y Khan, 1978). De acuerdo a Chefetz *et al.*, (2002), la principal porción de la materia orgánica consiste de sustancias húmicas (SH).

### **1.2.2 Proceso de compostaje y humificación**

El compostaje es un proceso de descomposición y humificación. (Rajae *et al.*, 2008) que determina la disponibilidad de nutrientes y el efecto de la ecología microbiana (Galli *et al.*, 1994). Los composts tienen una cantidad sustancial de materia orgánica, con una cantidad significativa de SH (Chang Chien *et al.*, 2006). La humificación es considerada como un proceso importante durante el compostaje donde hay formación de SH y descomposición de sustancias no húmicas (Wu y Ma, 2002).

Durante el proceso de compostaje la humificación de la materia orgánica ocurre principalmente en la fracción de los ácidos húmicos (AH) y poco en la de los ácidos fulvicos (AF) (Huang *et al.*, 2006). La humificación que ocurre en el suelo depende tanto de la composición química de los residuos orgánicos y condiciones del suelo que son influenciadas por la actividad de los microorganismos (Kononova, 1966), como de las condiciones climáticas (Miltner y Zech, 1994) y puede ser responsable del aumento de la proporción de los AH durante el compostaje.

Durante el proceso de compostaje se espera que aumente el porcentaje de SH respecto a la masa total seca o a la materia orgánica total. Como

resultado, los parámetros relacionados con la humificación se han examinado para representar la madurez y estabilidad de un compost (Veeken *et al.*, 2000).

### **1.2.3. Sustancias húmicas, ácido húmico y fúlvico**

Las sustancias húmicas (SH), son el producto de la descomposición de residuos de plantas, y animales como el estiércol (MacCarthy, 2001); constituyen la fracción de la materia orgánica más importante por su efecto en la ecología, estructura y fertilidad del suelo, así como en el crecimiento de las plantas (Huang *et al.*, 2006). Desde el punto de vista estructural, las SH consisten de un sistema macromolecular caótico dentro del cual sus propiedades no pueden ser determinadas ni expresadas en términos de sus diferentes unidades independientes (Almendros *et al.*, 1994).

Lehn (1995) define las SH como: “Conjuntos supramoleculares que resultan de la asociación espontánea de un gran número no definido de componentes dentro de una fase específica, dando más o menos organización microscópica bien definida y características macroscópicas, dependiendo de su naturaleza (tal como películas, capas, membranas, vesículas, micelas, fases mesomórficas, estructuras de estado sólido, etc.).

Las SH constituyen una categoría de compuestos orgánicos heterogéneos que pueden ser caracterizados por su color amarillo a negro, de alto peso molecular y refractariedad (Aiken *et al.*, 1985). Las definiciones de las fracciones de las SH están basadas en las características de solubilidad en sistemas acuosos (Hayes y Clapp, 2001); representan la suma total de AH

(sustancias solubles en soluciones alcalinas e insolubles en ácidos) + AF (sustancias solubles en soluciones alcalinas y ácidas) + huminas (Hm) (sustancias insolubles tanto en soluciones alcalinas como ácidas). Inevitablemente, esta clasificación es necesaria para aislar y caracterizar a estas fracciones (Schnitzer, 2000).

En consideración del concepto de asociaciones supramoleculares, las definiciones clásicas de AH y AF pueden ser reconsideradas. Los AF pueden ser considerados como asociaciones de pequeñas moléculas hidrofílicas que tienen bastantes grupos funcionales ácidos que permiten que los grupos fúlvicos se dispersen en solución a cualquier pH. Los AH están constituidos por asociaciones de moléculas predominantemente hidrofóbicas (cadenas polimetilénicas, ácidos grasos, compuestos esteroideos) que se estabilizan a pH neutro por fuerzas dispersivas hidrofóbicas (Van der Waals, pi-pi, y enlaces CH-pi); su crecimiento conformacional en tamaño se da cuando se forman progresivamente los enlaces intramoleculares de hidrógeno a bajo valor de pH hasta que flocculan (Piccolo, 2001).

### **1.3 Productos hormonales**

En las plantas hay numerosas sustancias que actúan sobre células diferentes a aquellas en las que fueron producidas, ejerciendo muy variados efectos sobre el crecimiento y desarrollo a bajas concentraciones. A tales sustancias se les conoce como hormonas vegetales, factores de crecimiento o fitohormonas. Las hormonas vegetales son aquellas sustancias sintetizadas en

un determinado lugar de la planta y se translocan a otro, donde actúan a muy bajas concentraciones, regulando el crecimiento, desarrollo o metabolismo del vegetal. El término "substancias reguladoras del crecimiento" es más general y abarca a las substancias tanto de origen natural como sintetizadas en laboratorio que determinan respuestas a nivel de crecimiento, metabolismo o desarrollo en la planta (Azcón, *et al.*, 2000). Existen diferentes tipos de hormonas donde las más importantes están las para el desarrollo vegetal son las auxinas y citocininas las cuales se describen a continuación:

### **1.3.1. Auxinas**

Las auxinas son un grupo de hormonas vegetales naturales que regulan muchos aspectos del desarrollo, crecimiento de plantas y una gran cantidad de funciones fisiológicas, como: mitosis (cariocinesis), alargamiento celular, formación de raíces adventicias, dominancia apical, gravitropismo, abscisión, diferenciación de xilema, regeneración de tejido vascular en tejidos dañados. Se encuentran en pequeñas cantidades en las plantas, con mayores concentraciones en los meristemas caulinares, laterales, yemas en actividad, órganos en activo crecimiento. La forma predominante en las plantas es el ácido indolacético (AIA), otras formas naturales de auxinas son el ácido 4-cloro-indolacético (4-Cl- AIA), ácido fenilacético (AFA), ácido indol butírico (AIB) y el ácido indol propiónico (Ludwig-Müller & Cohen 2002).

Aunque las auxinas se encuentran en todos los tejidos de la planta, una mayor concentración ocurre en las regiones que están en crecimiento activo. La



síntesis de AIA ocurre principalmente en meristemas apicales, hojas jóvenes y frutos en desarrollo. El ápice de los tallos es sin duda el tejido por excelencia donde se sintetiza AIA y de donde se puede establecer un gradiente de la hormona hasta la base. Algunas objeciones a esta hipótesis sugieren que el AIA presente en ápices aéreos es transportado desde la semilla por el xilema. El AIA ha sido detectado en el cambium, xilema y floema (Rashotte *et al.* 2003).

La molécula clave en su biosíntesis es el aminoácido triptófano o su precursor, el indol-glicerol-fosfato. Una vez usada, la molécula puede ser desactivada, para lo cual se realiza un proceso de oxidación que es irreversible. Cuando está funcional, el AIA se moviliza en la planta a cortas distancias por difusión y a largas distancias por transporte polar, un tipo de movimiento de velocidad intermedia entre la difusión y el movimiento por el floema. Dos características importantes descubiertas en el transporte polar son su dependencia de energía metabólica y el hecho que es basipétala en el tallo.

La hormona AIA y su derivado sintético, inhiben el crecimiento de los brotes en tubérculos dormantes (Suttle, 2004a), aunque la evidencia sobre su papel es controvertida. Sorce *et al.* (2009) encontraron que en yemas dormantes de tubérculos recién cosechados, el AIA libre se acumula principalmente en el meristemo apical, hojas y primordios de yemas laterales, al igual que en los tejidos vasculares que rodean el meristemo apical, mientras que al final del periodo de almacenamiento, únicamente el primordio de las yemas axilares en crecimiento presentó niveles apreciables de auxinas. Esto

indica que el AIA no es directamente responsable de la inhibición de la brotación, aunque las auxinas podrían acortar el periodo de dormancia.

### **1.3.2. Citocininas**

El nombre de este grupo de hormonas se debió a que la primera hormona aislada de ellas (quinetina), presentaba la capacidad de inducir la multiplicación celular (citocinesis), de células vegetales. Hoy día, se sabe que las citocininas son responsables también de otros efectos fisiológicos como la ruptura de la dominancia apical y el retraso de la senescencia foliar. Estos efectos se logran en acción conjunta con otras hormonas y estímulos ambientales como la luz. Se reconocen más de cien sustancias naturales y sintéticas con propiedades hormonales que las ubican entre las citocininas, siendo su estructura química básica la de las purinas sustituidas. Un aspecto realmente único de estas fitohormonas, es que se les puede hallar como bases inusuales en algunos ARNt.

Evidencias recientes sugieren que un incremento en el contenido de citocininas está asociado a la finalización de la dormancia, mientras que un incremento en el contenido de giberelinas es importante para la iniciación del crecimiento de los brotes (Suttle, 2003). Las citocininas son conocidas por su capacidad para estimular la división celular, y se ha observado que su concentración disminuye en tejidos vegetales que están saliendo de la fase G-1 del ciclo celular (Francis y Sorrell, 2001). La inhibición del crecimiento de los meristemas en tubérculos dormantes se asocia a la detención del proceso de

división de las células meristemáticas del brote en la fase G-1 del ciclo celular (Campbell *et al.*, 2008). Los niveles endógenos de citocininas son relativamente bajos en tubérculos altamente dormantes, los cuales además no responden a su aplicación exógena (Suttle, 2004b). El aumento en el contenido y sensibilidad a las citocininas puede ser el factor principal que conduce a la pérdida de la dormancia, mientras que cambios en el contenido de AIA y ácido giberélico (AG) pueden influir directamente en la regulación del crecimiento del brote (Suttle, 2004b). Las citocininas endógenas son agentes naturales de rompimiento de la dormancia en tubérculos de papa (Suttle, 2004b). Están presentes en todo el tubérculo y se distribuyen uniformemente entre el tejido apical, lateral e internodal en estado de dormancia. La pérdida de la dormancia coincide con un aumento leve en los niveles basales libres de citocininas en los brotes apicales y tejido adyacente. Además de un incremento en el contenido de citocinina, la progresión de la dormancia se caracteriza por una sensibilidad creciente del tubérculo dormante a las citocininas. Inmediatamente después de la cosecha, y durante el almacenamiento temprano en poscosecha, los tubérculos son insensibles a las citocininas exógenas.

### **1.3.3. Relación de auxinas/citocininas**

El control de los niveles endógenos de citocininas está muy relacionado con las auxinas, ya que en plantas es común que la actividad de un tipo de hormona está muy ligada a la actividad de otras hormonas. Dependiendo del proceso biológico, la interacción hormonal puede ser sinergista o antagonista,

según. Los lugares de mayor producción de las citocininas son los meristemos, principalmente los de la raíz, además del endospermo de la semilla (Lopez *et al.*, 2008).

El fenómeno de dominancia apical se debe fundamentalmente a la acción de esta dos hormonas, responsables ambas de la división celular. Mientras existe la yema apical se concentran en ésta para producir el alargamiento del eje caular. Mientras las auxinas se sintetizan fundamentalmente en el meristemo apical y hojas en crecimiento; las citocininas se sintetizan en los ápices radicales. Así, las auxinas tienen un traslado polar basípeto, las citocininas se transportan por vía xilema hacia los ápices en forma acropétala. Cuando existe el ápice vegetativo, las auxinas sintetizadas en él, en su transporte, ejercerían un efecto orientativo (efecto sumidero) en el traslado de las citocininas sintetizadas en la raíz, dirigiéndolas hacia el ápice, alcanzando una relación de concentración auxina/citocinina óptima, para la división y diferenciación celular. Esto se comprueba ya que si se remueve el ápice y en su lugar se coloca un bloque de agar con AIA, se mantiene la dominancia apical (Lallana y Lallana, 2003).

Una característica de las citocininas es que se transportan al lugar de acción y una vez en él, quedan inmovilizadas. Si se aplican citocininas exógenamente sobre una yema en la inserción con el tallo, queda inmovilizada en él y juntamente con las auxinas provenientes del ápice y las hojas, se alcanza el nivel óptimo de concentración para la brotación. Así las yemas laterales brotan sin necesidad de remover la yema apical. En algunas especies

que exhiben dominancia apical, no existen conexiones vasculares entre las yemas laterales y el xilema. Cuando se remueve la yema apical se redistribuyen las auxinas y citocininas, produciéndose la conexión vascular a nivel de yema, permitiendo que llegue el agua y nutrientes necesarios para la brotación (Weaver, 1980).

Las auxinas sintetizadas en el ápice vegetativo también ejercerían un efecto sumidero en el traslado de los nutrimentos, determinando así la llegada de un flujo limitado o nulo de nutrimentos a los brotes laterales. En algunas especies al remover el ápice brotan las yemas de la base del tallo, esto se debe a que son las de mayor edad las más cercanas al ápice aún no han completado su desarrollo. En cambio en las plantas leñosas, generalmente esto no ocurre, al remover los ápices, brotará la yema subsiguiente, la cual en la mayoría de los casos retoma la dominancia ejercida por la primera. La dominancia apical constituye la base fisiológica de la poda de árboles frutales (ya sea de formación o de fructificación) y el desbrote de tubérculos y rizomas (Lallana y Lallana, 2003).

#### **1.4. Reservas vegetativas**

Las plantas bulbosas son plantas herbáceas y perennes que presentan órganos subterráneos de reserva de nutrimentos, tales como bulbos, cormos, rizomas, tubérculos y raíces tuberosas. Estas especies suelen perder su parte aérea durante las épocas desfavorables de crecimiento (el invierno o el verano, dependiendo de la especie) y permanecen en reposo gracias a las reservas

almacenadas en sus bulbos como es el caso de *C. bicolor*. Cuando las condiciones estacionales vuelven a ser favorables, dichas reservas sustentan el nuevo ciclo de crecimiento. Además, los bulbos también permiten la multiplicación vegetativa o asexual en estas especies (Hessayon, 1999).

Las reservas pueden ser definidas como componentes o elementos acumulados durante un período de abundancia con el fin de que estén disponibles en una etapa posterior o ser utilizadas durante temporadas desfavorables. Las principales reservas vegetativas corresponden a carbohidratos como el almidón y nitrógeno como parte integral de los compuestos de la planta; por ejemplo, las proteínas.

Existe una correlación lineal entre las reservas vegetativas en invierno y los nuevos crecimientos en el siguiente ciclo vegetativo. El nuevo crecimiento es en gran medida dependiente de las reservas almacenadas. Es así que la nutrición nitrogenada mejora el desarrollo de yemas reproductivas antes del receso. Las principales reservas son carbohidratos, almidón y proteínas.

#### **1.4.1. Carbohidratos y almidón**

El almidón en el cultivo de *C. bicolor* se acumula en los tubérculos hasta finales de caída de hojas en invierno; es el principal carbohidrato de reserva, se sintetiza durante la formación del tubérculo y se degrada para proveer los carbohidratos necesarios para el crecimiento de los brotes (Claassens, 2002). Durante el ciclo de vida, el tubérculo experimenta una transición funcional de vertedero acumulador de asimilados a fuente de asimilados para el desarrollo

de los brotes (Viola *et al.*, 2007). En el desarrollo del tubérculo, el parénquima de almacenamiento convierte activamente asimilados solubles (sacarosa y aminoácidos) en reservas poliméricas (almidón y proteína) (Ferne y Willmitzer, 2001). La tuberización se caracteriza por la inducción de descarga simplástica en la región hinchada del estolón, mientras que el brote apical constituye un dominio discreto de células aisladas simplásticamente del resto del tubérculo. El cese del aislamiento simplástico del brote apical trae como consecuencia el inicio del crecimiento del mismo. Este cambio fisiológico está relacionado con la acumulación de carbohidratos y el posterior crecimiento del brote (Viola *et al.*, 2007). En la madurez, más del 70 por ciento de los carbohidratos de reserva del tubérculo son almacenados como almidón, convirtiéndose en solutos compatibles que son transportados para el sostenimiento de los brotes.

La movilización y transporte de carbohidratos y otros nutrimentos, desde el parénquima de almacenamiento hacia los brotes en crecimiento, es indispensable para la transición vertedero-fuente sufrida por el tubérculo, la cual puede estar antecedida de la activación del vertedero (crecimiento del brote). Sin embargo, la pérdida total de la dormancia se puede definir como el establecimiento de la relación fuente-vertedero entre el brote (vertedero) y el parénquima del almacenamiento (fuente). En los días siguientes a la separación del tubérculo de la planta madre, dentro del mismo se presenta un cambio en el metabolismo de almacenamiento (síntesis de almidón) y la movilización de las reservas, sugiriendo una transición fuente-vertedero que favorece el crecimiento

de los brotes, los cuales inicialmente se encontraban aislados simplásticamente (Viola *et al.*, 2007).

Al evaluar el metabolismo de los carbohidratos durante el periodo de dormancia y brotación, Claassens (2002) encontró que durante la iniciación de la primera hay síntesis de almidón, mientras que al final de la misma predomina el desdoblamiento de esta molécula hacia sus monómeros constituyentes, en este caso la sacarosa (Suttle, 2007). Se asume que este cambio funcional permite la difusión de sacarosa en el apoplasto de tubérculos fuente, haciendo que quede disponible para la absorción en el floema y transporte hacia los brotes (Viola *et al.*, 2007).

#### **1.4.2. Proteínas**

La fotosíntesis es de vital importancia en las plantas ya que después de la formación de glucosa, se lleva a cabo una serie de secuencias de otras reacciones químicas que dan lugar a la formación de almidón y otros carbohidratos. A partir de estos productos, la planta elabora lípidos y proteínas necesarios para la formación del tejido vegetal, lo que induce el crecimiento. Las proteínas son los principales constituyentes orgánicos del protoplasma, sustancias sumamente complejas de naturaleza nitrogenada de alto peso molecular que se diferencian en la forma, las propiedades de superficie, de tamaño y función. Sin embargo, todas tienen en común el hecho de que se construyen a partir de aminoácidos (y por lo tanto poseen las propiedades tanto de un ácido y de base) además de que tienen propiedades coloidales



(Kozlowsky y Pallardy, 1997). Cada molécula proteica tiene constituyentes y estructura particulares que se mantienen en tanto la proteína conserve su actividad.

Las proteínas de reserva vegetativa (VSP por sus siglas en inglés) corresponden a un grupo heterogéneo, y sólo pueden ser identificadas por la acumulación temporal en órganos en etapa de dormancia y la pérdida durante la temporada de crecimiento (Staswick, 1994, citado por Valenzuela, *et al.*, 2011). Las VSP son proteínas altamente enriquecidas con nitrógeno que son intensamente movilizadas para la reactivación de órganos en primavera, incluyendo la expansión de las hojas y crecimiento cambial. Estas proteínas se identificaron por primera vez en árboles frutales (O'Kennedy y Titus, 1979) y en álamo (Sauter *et al.*, 1990, Stepien y Martin, 1994).

### **1.5. Análisis de imagen**

El análisis de imagen es una técnica que se basa en la adquisición y digitalización de una imagen captada mediante un objetivo óptico (cámara fotográfica o video, microscópico, etc.). La digitalización convierte la imagen grabada en una matriz de puntos, que son identificados en soporte informático en función de sus coordenadas, entre otras, de posición, de luminosidad y de color. De esta forma, en la imagen digitalizada, se podrán realizar múltiples mediciones de longitudes, perímetros o áreas, contajes de células o partículas, medidas de color, de densidad, etc. Toda la información que proporciona la imagen permite numerosas aplicaciones dentro de diversos campos como la

patología vegetal, agronomía, protección vegetal, fisiología vegetal, ingeniería forestal, producción animal entre otras (Mendizábal y Goñi, 2001).

Para desarrollar un método adecuado de análisis de imagen es necesario disponer de un equipo mínimo que conste de: un sistema óptico conectado a una cámara de vídeo o fotográfica encargada de enviar una parte del campo de visión a un sistema informático (Figura 1). El programa informático a través de un sistema de análisis de imagen, procesa y convierte la imagen en una imagen binaria a partir de la que mide y cuenta el número de píxeles que conforman el borde de la proyección de la partícula, los multiplica por un factor de escala (calibración) obteniendo así el perímetro o longitud del objeto. De igual modo también cuenta los píxeles “atrapados” dentro de ese perímetro para calcular el área (Almeida, *et al.*, 2003).



Figura 1. Componentes del laboratorio de imagen

El cálculo de otro tipo de dimensiones como son los diferentes diámetros de las partículas depende del programa de análisis de imagen empleado. En general existen tres modalidades de trabajo:

- ✓ Recuento y determinación de las coordenadas de situación de los píxeles que componen la imagen binaria de la proyección de la partícula.
- ✓ Trazado de cuerdas radiales que pasan por el centro de masas de la imagen de la partícula a diferentes ángulos que interceptación su perímetro.
- ✓ Determinación de diferentes diámetros de la partícula mientras va girando todas sus coordenadas (Almeida, *et al.*, 2003).

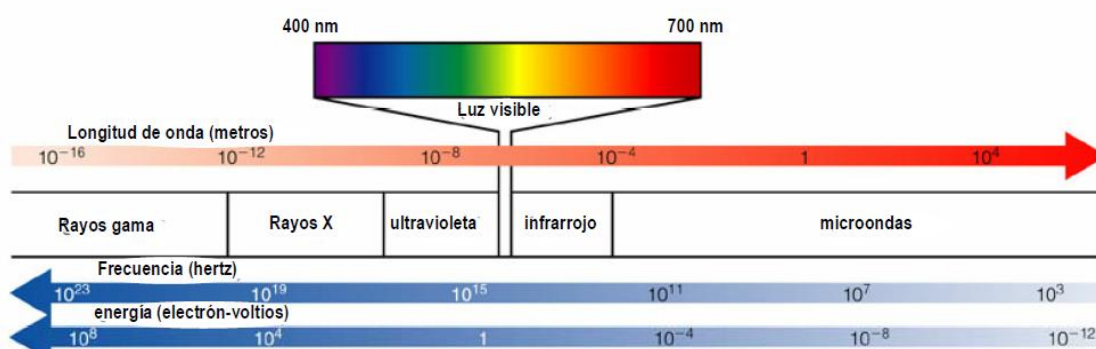
### **1.6. Espectrofotometría UV-visible**

El estudio a nivel bioquímico de cualquier biomolécula requiere la utilización de técnicas analíticas que permitan su determinación cualitativa y cuantitativa, así como su caracterización físico-química y biológica. Uno de los métodos más sencillos, accesibles, útiles y utilizados es la espectrofotometría. Se pueden identificar y cuantificar biomoléculas en solución y en muestras biológicas, con el empleo de reactivos específicos que reaccionan con el compuesto a analizar y forman un producto coloreado que permite detectarlo en muestras complejas.

El fundamento de la espectrofotometría se debe a la capacidad de las moléculas para absorber radiaciones, entre ellas las radiaciones dentro del espectro UV-visible. Las longitudes de onda de las radiaciones que una

molécula puede absorber y la eficiencia con la que se absorben dependen de la estructura atómica y de las condiciones del medio (pH, temperatura, fuerza iónica, constante dieléctrica), por lo que dicha técnica constituye un valioso instrumento para la determinación y caracterización de biomoléculas. Las moléculas pueden absorber energía luminosa y almacenarla en forma de energía interna. Esto permite poner en funcionamiento ciclos vitales como la fotosíntesis en plantas y bacterias. Cuando la luz (considerada como energía) es absorbida por una molécula se origina un salto desde un estado energético basal o fundamental,  $E_1$ , a un estado de mayor energía (estado excitado),  $E_2$ . y sólo se absorberá la energía que permita el salto al estado excitado. Cada molécula tiene una serie de estados excitados (o bandas) que la distingue del resto de moléculas. Como consecuencia, la absorción que a distintas longitudes de onda presenta una molécula esto es, su espectro de absorción que constituye una señal de identidad de la misma. Por último, la molécula en forma excitada libera la energía absorbida hasta el estado energético fundamental (Abril *et al.*, 2015).

En espectrofotometría el término luz no sólo se aplica a la forma visible de radiación electromagnética, sino también a las formas UV e IR (Figura 2), que son invisibles. En espectrofotometría de absorbancia se utilizan las regiones del ultravioleta (UV cercano, de 195-400 nm) y el visible (400-780 nm).



**Figura 2. Espectro electromagnético**

La región UV se define como el rango de longitudes de onda de 195 a 400 nm. Región de energía muy alta. Los compuestos con dobles enlaces aislados, triples enlaces, enlaces peptídicos, sistemas aromáticos, grupos carbonilos y otros heteroátomos tienen su máxima absorción en la región UV, por lo que ésta es muy importante para la determinación cualitativa y cuantitativa de compuestos orgánicos. Diversos factores como pH, concentración de sal y el disolvente que alteran la carga de las moléculas, provocan desplazamientos de los espectros UV. La fuente de radiación ultravioleta es una lámpara de deuterio (Skoog *et al.*, 1998)

La medición de absorción de la luz por las moléculas se realiza en aparatos llamados espectrofotómetros (Figura 3). Aunque pueden variar en diseño, en especial con la incorporación de ordenadores para el análisis de datos, todos los espectrofotómetros constan de (Abril *et al.*, 2015):

- ✓ Una fuente de energía radiante: lámpara de deuterio y tungsteno.

- ✓ Un monocromador para la selección de radiaciones de una determinada longitud de onda: filtros, prismas, redes de difracción.
- ✓ Un compartimento donde se aloja un recipiente transparente (cubetas o tubos) que contenga la muestra Pueden ser de vidrio, cuarzo o plástico transparente. Para medir en UV se deben usar las de cuarzo o sílice fundido, porque el vidrio no transmite la radiación UV.
- ✓ Un detector de luz y un amplificador convertidor de las señales luminosas en señales eléctricas.
- ✓ Un registrador o sistema de lectura de datos.

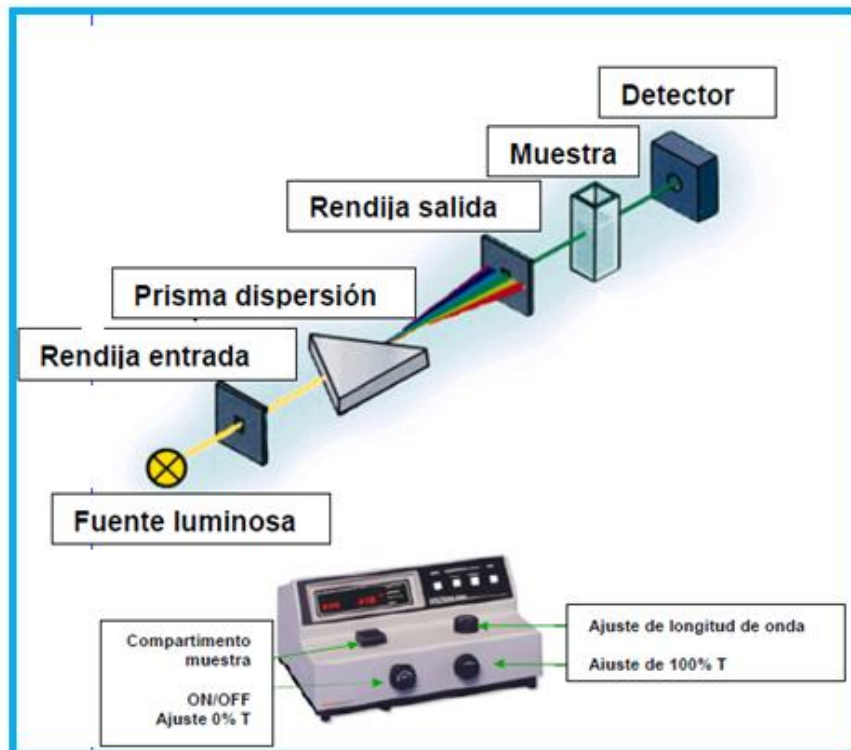


Figura 3. Espectrofotómetro

Desde el punto de vista operativo, el primer paso es seleccionar la fuente de luz y longitud de onda a la que se va a realizar la medida. Hay espectrofotómetros de un solo haz (con una sola celdilla para alojar la cubeta con la muestra) y de doble haz (con dos celdillas para dos cubetas); en nuestro caso se trabajará con los de un solo haz.

Se mide primero la absorbancia del disolvente (conocido como blanco) al que se le asigna el valor de cero mediante el ajuste del mando, de forma que la intensidad incidente y transmitida sean iguales ( $I_0 = I_t$ ), y por tanto la absorbancia es cero. A continuación se pone en la celdilla la cubeta con la muestra y se lee la absorbancia de ésta. Para obtener una curva de calibrado de un compuesto se preparan soluciones de diferentes concentraciones del mismo, determinándose para cada una de ellas el valor de absorbancia a  $\lambda_{\max}$ . Estos valores de absorbancia se representan en el eje de abscisas (eje de x) y los de concentración en el eje de ordenadas (eje de y). Se observará que, a bajas concentraciones, el aumento de concentración se corresponde con un incremento lineal en la absorbancia (zona de cumplimiento de la ley de Lambert-Beer). A concentraciones altas la linealidad se pierde y se observa que la línea se aplana, por lo que las medidas son poco fiables (González, 2004).

La espectrofotometría se basa en dos leyes, ley de Beer y ley de Lambert: la primera dice que “cuando un rayo de luz monocromática pasa a través de un medio absorbente, su intensidad disminuye exponencialmente a medida que la concentración del medio absorbente aumenta”. La segunda dice

“cuando hay un rayo de luz monocromática pasa a través de un medio absorbente, su intensidad disminuye exponencialmente a medida que la longitud del medio absorbente aumenta”. Una ley muy importante es la ley de Bouguer-Beer-Lambert (también conocida como ley Lambert Bouguer y Beer) la cual es solo una combinación de las citadas anteriormente.



## **CAPÍTULO 2. ARTÍCULOS**

### **2.1. ARTÍCULO 1**

#### **CONCENTRACIÓN DE ALMIDÓN Y PROTEÍNAS SOLUBLES EN TUBÉRCULOS DE *Caladium bicolor* EN DIFERENTES ETAPAS FENOLÓGICAS**

Ixchel Abby Ortiz Sánchez, Vicente de Paul Álvarez Reyna, Guillermo González Cervantes, Luis Manuel Valenzuela Núñez, María Del Carmen Potisek Talavera y Jorge Armando Chávez Simental

**(Aceptado en Vol. 6 Núm. 3 01 de abril-15 de mayo de 2015 en la Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas)**

## Concentración de almidón y proteínas solubles en tubérculos de *Caladium bicolor* en diferentes etapas fenológicas\*

### Concentration of Starch and soluble proteins in tubers of *Caladium bicolor* under different phenological stages

Ixchel Abby Ortiz Sánchez<sup>1</sup>, Vicente de Paul Álvarez Reyna<sup>1</sup>, Guillermo González Cervantes<sup>2</sup>, Luis Manuel Valenzuela Núñez<sup>3,8</sup>, María del Carmen Potisek Talavera<sup>2</sup> y Jorge Armando Chávez Simental<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro-Unidad Laguna. Carretera a Santa Fe y Periférico S/N. C. P. 27000. A. P. 940. Torreón, Coahuila, México. Tel y Fax: 871 73 31 210; 7331090; 7330067. <sup>2</sup>Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro-Unidad Laguna. Carretera a Santa Fe y Periférico S/N. C. P. 27000. A. P. 940. Torreón, Coahuila, México. Tel y Fax: 871 73 31 210; 7331090; 7330067. <sup>3</sup>Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad Juárez del Estado de Durango. Av. Universidad S/N. Fracc. Filadelfia. C. P. 35010. Gómez Palacio, Dgo. Tel y Fax: 871 7152077. <sup>4</sup>INIFAP CENID-RASPA, km. 6.5 Margen Derecha Canal de Sacramento. Ejido Las Huertas, C. P. 35100. Gómez Palacio, Dgo. Tels. (871) 1590104; 1590105 y 1590107. <sup>5</sup>Instituto de Silvicultura e Industria de la Madera de la Universidad Juárez del Estado de Durango, Boulevard del Guadiana 501. Ciudad Universitaria C. P. 34120. Durango, Dgo. Tels. (618) 8251886 y 8280378. <sup>8</sup>Autor para correspondencia: luisvn70@hotmail.com.

#### Resumen

En el presente trabajo se evaluó la concentración de almidón y proteínas solubles ( $\text{mg g}^{-1}$  de MS) en tubérculos de *Caladium bicolor* mediante la aplicación de productos orgánicos (ácidos húmicos y fúlvicos) diluidos en el agua de riego. Los tratamientos consistieron en la interacción de tres dosis de producto orgánico (0 (testigo), 4 y  $8 \text{ ml L}^{-1}$ ) y tres etapas fenológicas del cultivo (floración, predormancia y dormancia). Las variables fueron medidas en base a la técnica de espectrofotometría UV-visible, mediante modelos matemáticos derivados de curvas de calibración para cada compuesto orgánico. Los datos obtenidos fueron analizados bajo un diseño completamente al azar con arreglo factorial  $3 \times 3$ . Los tratamientos con 8 y  $4 \text{ ml L}^{-1}$  de producto orgánico (ácidos húmicos y fúlvicos) en la etapa de dormancia, presentaron mayor concentración de almidón con 885.18 y  $833.97 \text{ mg g}^{-1}$  de MS respectivamente. Por otra parte, se obtuvo la mayor concentración de proteínas solubles en los tratamientos de 4 y  $8 \text{ ml L}^{-1}$  en la etapa de floración con 156.04 y  $150.54 \text{ mg g}^{-1}$  de MS respectivamente. Bajo las condiciones en las que se desarrolló la presente investigación, se concluye que la aplicación de productos orgánicos genera mayor

#### Abstract

In this paper the concentration of starch and soluble proteins ( $\text{mg g}^{-1}$  DM) in tubers of *Caladium bicolor* was evaluated through the application of organic products (humic and fulvic acids) diluted in irrigation water. Treatments consisted in the interaction of three doses of organic product (0 (control), 4 and  $8 \text{ ml L}^{-1}$ ) and three phenological stages of the crop (flowering, predormancy and dormancy). The variables were measured based on UV-visible spectrophotometry, using mathematical models derived from calibration curves of each organic compound. The data was analyzed under a completely randomized design with a factorial arrangement  $3 \times 3$ . The treatments with 8 and  $4 \text{ ml L}^{-1}$  of organic product (humic and fulvic acids) on dormancy stage showed higher concentration of starch with 885.18 and  $833.97 \text{ mg g}^{-1}$  DM respectively. Furthermore, the highest concentration of soluble proteins in treatment of 4 and  $8 \text{ ml L}^{-1}$  was obtained at flowering stage with 156.04 and  $150.54 \text{ mg g}^{-1}$  DM respectively. Under the conditions in which this research was conducted, it is concluded that the application of organic products generates greater concentration of vegetative storage in tubers of this crop, which will serve to produce bigger and more shoots for the next production cycle.

\* Recibido: noviembre de 2014  
Aceptado: marzo de 2015

concentración de reservas vegetativas en el tubérculo de este cultivo, lo cual servirá para que produzca brotes en mayor tamaño y cantidad para el siguiente ciclo de producción.

**Palabras clave:** *Caladium*, cultivo ornamental, fertilización, reservas vegetativas.

## Introducción

Debido a su popularidad y versatilidad, el *Caladium bicolor* ha sido una planta ornamental de gran valor que no se limita exclusivamente a las zonas tropicales de las cuales es originario, ya que puede ser utilizado con éxito en maceta y en los jardines en gran parte de Estados Unidos de América (Evans *et al.*, 1993), con mejora de las técnicas de almacenamiento de tubérculos que le permite desarrollarse en condiciones de jardín aún en condiciones de ambiente seco (Mayol *et al.*, 1997).

El interés comercial de esta planta es que se puede utilizar casi año alrededor tanto en el comercio de la floristería tradicional y para jardines interiores en las situaciones donde se desea color adicional. *Caladium bicolor* forma parte de la amplia variedad de plantas que durante su ciclo de vida almacenan reservas vegetativas como es el caso de almidón y proteínas que las plantas necesitan para generar mayores brotes en el ciclo siguiente, como en árboles frutales, algunas hortalizas (papa y zanahoria) y otras plantas ornamentales. El almidón es una de las principales reservas, que se sintetiza a partir del dióxido de carbono capturado de la atmósfera y agua proveniente del suelo. Es el carbohidrato más abundante en las plantas y se encuentra en hojas, diferentes tipos de tallos y raíces así como en flores, frutos, semillas y tubérculos; en éste último, se utiliza como fuente de energía durante periodos de dormancia, estrés o reinicio del crecimiento (Scott *et al.*, 2000, Baguma *et al.*, 2003; Tester *et al.*, 2004).

Las plantas bulbosas de especies ornamentales como *Caladium bicolor* presentan órganos subterráneos en forma de tubérculos que funcionan como un órgano de reserva y de almacenamiento masivo para una gama de macromoléculas, principalmente almidón y proteínas (Ewing y Wareing 1978). Estas especies suelen perder su parte aérea durante la época de invierno y permanecen en reposo gracias a las reservas almacenadas en sus tubérculos. Al inicio de primavera cuando las condiciones estacionales vuelven a ser favorables para el cultivo, dichas reservas sustentan el nuevo ciclo de crecimiento (Hartmann y Kester, 1999).

**Keywords:** *Caladium*, fertilization, ornamental plants, vegetative reserves.

## Introduction

Due to its popularity and versatility, *Caladium bicolor* has been an ornamental plant of great value that is not confined to the tropics of which it originated, since it can be used successfully in pots and gardens along the United States of America (Evans *et al.*, 1993), with improved storage techniques of tubers that allow them to grow under conditions of garden, even under dry conditions (Mayol *et al.*, 1997).

The commercial interest of this plant is that it can be used almost all year both trade of traditional florist and indoor gardens in situations where additional color is desired. *Caladium bicolor* is part of a wide variety of plants that during their life cycle stores vegetative reserves such as starch and proteins that plants need to generate bigger shoots in the next cycle, as in fruit trees, some vegetables (potatoes and carrot) and other ornamental plants. Starch is a major reserve, which are synthesized from carbon dioxide captured from the atmosphere and soil water. It is the most abundant carbohydrate in plants and is found in leaves, different types of stem and roots as well as in flowers, fruits, seeds and tubers; in the latter, it is used as an energy source during periods of dormancy, stress or to restart growth (Scott *et al.*, 2000, Baguma *et al.*, 2003; Tester *et al.*, 2004).

Ornamental Bulbous plants such as *Caladium bicolor* have underground tuber shaped organs that work as a storage organ and massive storage for a range of macromolecules, mainly starch and proteins (Ewing and Wareing, 1978). These species tend to lose their aerial part during the winter time and remain latent thanks to the reserves stored in their tubers. At the beginning of spring when seasonal conditions become favorable for cultivation, such reserves support the new growth cycle (Hartmann and Kester, 1999).

Photosynthesis is of vital importance in plants since after the formation of glucose, is carried out a series of sequences of other chemical reactions leading to the formation of starch and other carbohydrates. From these products, the plant produces lipids and proteins required for the formation of plant tissue, inducing growth. Proteins are the main organic constituents of protoplasm, extremely complex substances

La fotosíntesis es de vital importancia en las plantas ya que después de la formación de glucosa, se lleva a cabo una serie de secuencias de otras reacciones químicas que dan lugar a la formación de almidón y otros carbohidratos. A partir de estos productos, la planta elabora lípidos y proteínas necesarios para la formación del tejido vegetal, lo que induce el crecimiento. Las proteínas son los principales constituyentes orgánicos del protoplasma, sustancias sumamente complejas de naturaleza nitrogenada de alto peso molecular que se diferencian en la forma, las propiedades de superficie, de tamaño y función. Sin embargo, todas tienen en común el hecho de que se construyen a partir de aminoácidos (y por lo tanto poseen las propiedades tanto de un ácido y de base) además de que tienen propiedades coloidales (Kozłowski y Pallardy, 1997).

Cada molécula proteica tiene constituyentes y estructura particulares que se mantienen en tanto la proteína conserve su actividad. Las proteínas de reserva vegetativa (VSP) por sus siglas en inglés corresponden a un grupo heterogéneo, y sólo pueden ser identificadas por la acumulación temporal en órganos en etapa de dormancia y la pérdida durante la temporada de crecimiento (Staswick, 1994, citado por Valenzuela, *et al.*, 2011). Las VSP son proteínas altamente enriquecidas con nitrógeno que son intensamente movilizadas para la reactivación de órganos en primavera, incluyendo la expansión de las hojas y crecimiento cambial.

Estas proteínas se identificaron por primera vez en árboles frutales (O'Kennedy y Titus, 1979) y en álamo (Sauter *et al.*, 1990, Stepien and Martin, 1994). El *Caladium bicolor* se propaga principalmente por tubérculo (Shah *et al.*, 2007), por lo cual es importante inducir su propagación mediante el uso de productos que estimulen su desarrollo (Péret *et al.*, 2009).

La utilización de productos orgánicos que permiten a los agricultores obtener mayor rendimiento sin alterar el medio ambiente, es una de las tendencias mundiales de nuestros tiempos. Se les atribuye el mejoramiento de la calidad de cultivos, como en papa, donde mejora la distribución de los almidones y uniformiza el tamaño. En trigo aumenta los contenidos de proteínas; en tomate, chile y otras hortalizas aumenta el porcentaje de fruto de exportación (Potisek *et al.*, 2013).

Existen productos orgánicos como los ácidos húmicos, los cuales tienen una gran capacidad para retener y transportar nutrientes, metales, pesticidas, etcétera; además son la fuente más importante de carbono orgánico terrestre y acuático (Álvarez *et al.*, 2004; Brigante *et al.*, 2006). Los ácidos

de nitrogenous nature with high molecular weight that differs in shape, surface properties, size and function. However, all have in common the fact that they are constructed from amino acids (and thus possess the properties of both an acid and base) plus they have colloidal properties (Kozłowski and Pallardy, 1997).

Each protein molecule has constituents and specific structure that are maintained while the protein preserves its activity. Vegetative storage proteins (VSP) for its acronym in English correspond to a heterogeneous group, and can only be identified by temporary accumulation in organs during dormancy stage and loss during the growing season (Staswick, 1994, quoted by Valenzuela *et al.*, 2011). VSP are highly enriched proteins with nitrogen that are strongly mobilized to reactivate organs in spring, including leaves expansion and cambial growth.

These proteins were first identified in fruit trees (O'Kennedy and Titus, 1979) and in Fremont cottonwood (Sauter *et al.*, 1990, Stepien and Martin, 1994). *Caladium bicolor* is mainly propagated as tubercle (Shah *et al.*, 2007), so it is important to induce its propagation using products that stimulate their development (Peret *et al.*, 2009).

The use of organic products that allow farmers to obtain higher yield without altering the environment, is one of the global trends of our times; are accounted for improving the quality of crops, such as potatoes, which improves the distribution of starches and standardizes size. In wheat protein content increases; in tomatoes, peppers and other vegetables increases the percentage of fruit export (Potisek *et al.*, 2013).

There are organic products such as humic acids, which have a high capacity to retain and transport nutrients, metals, pesticides, etc. they are also the most important source of terrestrial and aquatic organic carbon (Álvarez *et al.*, 2004; Brigante *et al.*, 2006). Humic acids activate biochemical processes in plants such as respiration and photosynthesis, which increases chlorophyll content, nutrient uptake, growth of soil microorganisms, root development, quality and yield of many plants (Aganga and increases Tshwenyane, 2003).

Viser (1986), classify plants into three groups based on the response shown by the application of humic substances, where the tuberous group, rich in carbohydrates such as potatoes, beets and carrots have a strong reaction and, under optimal conditions it can get an increase of up to 50% in yield.

húmicos activan los procesos bioquímicos en plantas, como la respiración y fotosíntesis, con lo que se incrementa el contenido de clorofila, absorción de nutrientes, crecimiento de organismos del suelo, desarrollo de raíces, calidad y rendimientos de muchas plantas (Agangay y Tshwenyane, 2003).

Viser (1986), clasifica a las plantas en tres grupos en base a la respuesta que manifiestan a la aplicación de sustancias húmicas, donde el grupo de tuberosas ricas en carbohidratos como la papa, betabel y zanahoria presentan una fuerte reacción y, bajo condiciones óptimas se puede obtener hasta 50% de incremento en rendimiento.

Debido a que se está introduciendo esta planta ornamental a la región donde las condiciones climáticas son diferentes a los de su origen, es necesario conocer su fenología, y con la aplicación de productos orgánicos se pretende satisfacer las necesidades nutricionales e incrementar la concentración de almidón y proteínas solubles en el tubérculo de este cultivo para incrementar las reservas vegetativas y generar mayores y mejores brotes en posteriores ciclos, así como estimular su pronta adaptabilidad a las condiciones adversas que deberá enfrentar en esta región.

## Materiales y métodos

### Localización del sitio experimental

El experimento se realizó en los meses de agosto a diciembre de 2012 en las instalaciones del invernadero ubicado en el fraccionamiento "Las Trojes", carretera antigua Torreón - San Pedro km 5 en Torreón, Coahuila.

### Productos orgánicos (ácidos húmicos y fúlvicos)

En la Comarca Lagunera existen aproximadamente 400 mil cabezas de ganado, que generan al día 520 toneladas de excretas, siendo un foco de infección y contaminación para las vacas y cuerpos de agua. El producto orgánico se obtiene mediante la elaboración de composta, en seguida se deposita en recipientes de 30 mil litros y se añade agua y un hidróxido de potasio (López, 2009); finalmente se realiza la licuefacción durante 7 días para desprender los grupos funcionales y obtener los ácidos húmicos y fúlvicos en concentraciones de 10 y 6% respectivamente, el resto de producto son macro y microelementos (ppm).

Due to this ornamental plant is being introduced to the region where climatic conditions are different from those of its origin, it is necessary to know its phenology, and with the application of organic products is intended to fulfill the nutritional needs and increase the concentration of starch and soluble proteins in the tuber of this crop to increase vegetative reserves and generate higher and better shoots in subsequent cycles, as well as to stimulate their prompt adaptability to adverse conditions that will face in this region.

## Materials and methods

### Location of the experimental site

The experiment was conducted in the months of August to December 2012 in the greenhouse facilities located in the housing state "Las Trojes" old road Torreón - San Pedro km 5 in Torreón, Coahuila.

### Organic products (humic and fulvic acids)

In the Laguna Region there are approximately 400 000 heads of cattle, that generate 520 tons per day of manure, being a focus of infection and contamination for cows and water bodies. The organic product is obtained by composting and then deposited in containers of 30 000 liters with water and potassium hydroxide (López, 2009); eventually liquefaction is performed for 7 days to release the functional groups and obtain humic and fulvic acids at concentrations of 10 and 6% respectively, the rest of the product are macro and microelements (ppm).

### Experimental area and treatments distribution

Treatments consisted in the interaction of three doses of organic product (0 (as control), 4 and 8 ml L<sup>-1</sup>) and three phenological stages (flowering, predormancy and dormancy). Three pots were randomly selected per dose of product at each stage of the crop; these samples were subjected to the corresponding biochemical analysis to determine the concentration of starch and protein in tuber of *Caladium*. The treatments were distributed under a completely randomized design with a factorial arrangement 3 \* 3, where the factors and levels are shown in Table 1, resulting in a total of nine treatments. For data analysis was used SAS software Ver. 9.11® (Statistical Analysis System, 1998).

### Área experimental y distribución de tratamientos

Los tratamientos consistieron en la interacción de tres dosis de producto orgánico (0 (como testigo), 4 y 8 ml L<sup>-1</sup>) y tres etapas fenológicas del cultivo (floración, predormancia y dormancia). Se seleccionaron aleatoriamente tres macetas por dosis de producto en cada etapa del cultivo; a estas muestras se les realizó el análisis bioquímico correspondiente para determinar la concentración de almidón y proteína en tubérculo de *Caladium*. Los tratamientos fueron distribuidos bajo un diseño experimental completamente al azar con arreglo factorial 3\*3, donde los factores y niveles se muestran en el Cuadro 1, resultando un total de nueve tratamientos. Para el análisis estadístico de los datos obtenidos se utilizó el software SAS Ver. 9.11<sup>®</sup> (Statistical Analysis System, 1998).

### Siembra y aplicación de tratamientos

La siembra de los tubérculos de *Caladium bicolor* se llevó a cabo en el mes de agosto, el tubérculo se sembró en sustrato Peat moss<sup>®</sup>, en macetas de plástico de color negro con un volumen de 11 L a una profundidad de 10 cm colocado al centro de la maceta.

La aplicación de los tratamientos se realizó a los 8 días después de la siembra, y una segunda aplicación se efectuó en la etapa de floración. Las variables independientes fueron los tratamientos (dosis de producto orgánico) y las etapas fenológicas del cultivo (floración, pre-dormancia y dormancia) y la variable dependiente fue la concentración de almidón y proteínas solubles en el tubérculo de *Caladium* (mg g<sup>-1</sup> de materia seca), lo cual se realizó mediante la técnica de espectrofotometría UV- visible.

### Técnica de espectrofotometría UV- visible

El análisis para determinar la concentración de almidón y proteínas solubles en tubérculo de *Caladium bicolor* se realizó en dos laboratorios de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Juárez del estado de Durango en el Laboratorio de Biología y Ecología Forestal y en el laboratorio de Biología Molecular.

### Pre tratamiento de muestras de caladio (*Caladium bicolor*)

El proceso para determinar la concentración de almidón y proteínas solubles consistió en tomar tres muestras al azar por tratamiento en cada etapa fenológica: floración, pre-

### Cuadro 1. Descripción de factores y niveles.

Table 1. Description of factors and levels.

| Factor                       | Nivel                |
|------------------------------|----------------------|
| Dosis de productos orgánicos | 4 ml L <sup>-1</sup> |
|                              | 8 ml L <sup>-1</sup> |
|                              | Testigo (0)          |
| Etapa vegetativa             | Floración            |
|                              | Pre- dormancia       |
|                              | Dormancia            |

### Sowing and application of treatments

Planting tubers of *Caladium bicolor* was conducted in the month of August; the tuber was planted in Peat moss<sup>®</sup> substrate in black plastic pots with a volume of 11 L at a depth of 10 cm placed in the center of the pot.

The application of the treatments was done 8 days after sowing, and a second application was made at flowering. The independent variables were treatments (dose of organic product) and phenological stages (flowering, predormancy and dormancy) and the dependent variable was the concentration of starch and soluble proteins in tuber of *Caladium* (mg g<sup>-1</sup> dry matter), which was performed by UV-visible spectrophotometry.

### UV-visible spectrophotometry

The analysis to determine the concentration of starch and soluble proteins in tuber of *Caladium bicolor* was made in two laboratories of the faculty of Biological Sciences from the Universidad Juárez, Durango at the Laboratory of Biology and Forest Ecology and at the Molecular Biology Laboratory.

### Pretreatment of caladium samples (*Caladium bicolor*)

The process to determine the concentration of starch and soluble proteins consisted in taking three random samples per treatment at each phenological stage: flowering, predormancy and dormancy. The plant was extracted from the pot and the substrate was removed to wash and separate the tuber from the plant.

Cleaned tubers were cut into small pieces and placed in foil pouches to immerse them in liquid nitrogen and subsequently place them in an ultra-freezer Revco<sup>®</sup> Value Plus Thermo Scientific<sup>®</sup> at -80 °C, in order to stop

dormancia y dormancia. La planta se extrajo de la maceta y se retiró el sustrato para lavar y separar el tubérculo de la planta.

Los tubérculos limpios, se cortaron en trozos pequeños y se introdujeron en bolsas de papel aluminio para sumergirlas en nitrógeno líquido y posteriormente colocarlas en el ultracongelador marca Revco® Value Plus Thermo Scientific® a -80 °C, con el fin de detener los procesos enzimáticos; de esta forma, las muestras pueden ser almacenadas por meses sin afectar la concentración de reservas vegetativas.

Las muestras fueron sometidas a un proceso de liofilización (Liofilizador Labconco®), durante una semana para extraer la humedad de las muestras. Este proceso consiste en pasar el agua en estado sólido directamente a un estado gaseoso sin pasar por estado líquido, de esta forma no se presenta degradación enzimática. Una vez liofilizadas las muestras, se molieron en un molino Thomas Wiley Cientific® hasta obtener un polvo fino, se tomó el peso seco de las muestras y se almacenaron en vasos esterilizados con tapa para determinar la concentración de almidón y proteínas solubles.

#### **Metodología para determinar la concentración de almidón**

Para cuantificar el almidón, primero se estableció una curva de calibración utilizando almidón de arroz de marca Sigma-Aldrich® como estándar, realizando concentraciones conocidas para su lectura en el espectrofotómetro UV- visible marca Genesys 20® Thermo Scientific®.

Para determinar la concentración de almidón, se pesaron 10 mg de materia seca en microtubos de 2 ml con una balanza analítica (Pioneer Ohaus®); se agregó 1 ml de agua destilada a la materia seca, mezclando en un Vortex® (Thermo Scientific®) a 6 500 rpm durante un min. Posteriormente la mezcla se hirvió a 100 °C en una estufa eléctrica durante 10 min para permitir la gelatinización del almidón; enseguida fueron centrifugadas (Spectrafuge 16 M® Labnet International®) a 2 500 rpm durante dos minutos para eliminar los restos de tejido. Del sobrenadante se tomaron 300 µl con una micropipeta (Eppendorf Research®), se colocaron en un microtubo y se añadieron 900 µl de etanol puro para precipitar el almidón; a continuación se centrifugó el microtubo a 10 000 rpm durante 5 min y el sobrenadante se desechó.

the enzymatic processes; in this manner, samples can be stored for months without affecting the concentration of vegetative reserves.

The samples were subjected to a freeze-drying process (Freeze Labconco®), for a week to remove moisture from the samples. This process involves passing water in solid state directly to a gaseous state without passing through the liquid state, thus no enzymatic degradation occurs. Once lyophilized the samples were ground in a mill Thomas Wiley Cientific® till a fine powder was obtained, the dry weight of the samples was recorded and stored in sterile cups with cap to determine the concentration of starch and soluble proteins.

#### **Methodology to determine the concentration of starch**

To quantify starch, first a calibration curve using rice starch from Sigma-Aldrich was established as a standard, making known concentrations for its reading in the UV-visible spectrophotometer Genesys 20® Thermo Scientific®.

To determine the concentration of starch, 10 mg of dry matter were weighed in microtubes of 2ml with an analytical scale (Pioneer Ohaus®); 1 ml of distilled water was added to dry matter, mixing in a Vortex® (Thermo Scientific®) at 6500 rpm for one min. Then the mixture was boiled at 100 °C in an electric oven for 10 min to allow starch gelatinization; then centrifuged (Spectrafuge 16 M® Labnet International®) at 2500 rpm for two minutes to remove tissue debris. From the supernatant 300 µl were taken with a micropipette (Eppendorf Research®), placed in a microtube and added 900 µl absolute ethanol to precipitate the starch; then the microtube was centrifuged at 10 000 rpm for 5 min and discarded the supernatant.

The precipitated starch was re suspended in 1 ml of distilled water with vigorous stirring in a vortex for 3 min. To the microtubes were added 50 µl of iodine solution and the content was placed in special cells to read them in a spectrophotometer. These were introduced into the UV-visible spectrophotometer Genesys® Thermo Scientific® and absorbance was read at a wavelength of 595 nm. Starch concentration from the samples was calculated using absorbance of each of the samples and the calibration curve from starch described above.

El almidón precipitado se re suspendió en 1 ml de agua destilada con agitación vigorosa por 3 min en vortex. A los microtubos se les adicionaron 50  $\mu$ l de solución de yodo y el contenido se colocó en celdillas especiales para leer en espectrofotometría. Estas se introdujeron en el espectrofotómetro UV- visible Genesys® Thermo Scientific® y se leyó la absorbancia a una longitud de onda de 595 nm. La concentración de almidón en las muestras se calculó usando la lectura de absorbancia de cada una de las muestras y el modelo de la curva de calibración de almidón anteriormente descrita.

#### Metodología para determinar la concentración de proteínas solubles

Para el método cuantitativo de proteínas totales solubles, primero se estableció una curva de calibración donde se utilizó una solución de Bovine Serum Albumine Bio Rad® como estándar para preparar concentraciones conocidas; las lecturas de absorbancia se obtuvieron en el espectrofotómetro UV- visible (Genesys 20® Thermo Scientific®).

Para determinar la concentración de proteínas solubles en las muestras de caladio (*Caladium bicolor*), se pesaron 10 mg de materia seca en una balanza analítica (Pioneer Ohaus®) en microtubos de 2 ml, se preparó una solución de extracción de proteínas (0.1 MKH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, 0.1 M Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> y 10% PVP), a la muestra en los microtubos se les colocó un balón de acero y se les agregó 1 ml de la solución de extracción, se realizó una agitación en un Vortex® (Thermo Scientific®) por 10 minutos para romper las paredes celulares. Se centrifugó a 10 000 rpm a 4 °C en una centrifuga con refrigeración (Axyspinr Refrigerated Microcentipge®) por 15 min, para después extraer 500  $\mu$ l de cada microtubo y colocarlos en las celdillas para espectrofotómetro, a las que se le agregaron 500  $\mu$ l de solución Quickstart Bradford BioRad®; se agitaron y se dejaron reposar por 5 minutos, para posteriormente obtener las lecturas de absorbancia a una longitud de onda de 595 nm. La concentración de proteínas totales solubles en las muestras se calculó usando la lectura de absorbancia de cada una de las muestras y el modelo de la curva de calibración de proteínas solubles anteriormente descrita.

#### Resultados y discusión

Los datos se tomaron a lo largo del ciclo vegetativo de *Caladium bicolor*, desde la etapa de floración a la etapa de dormancia, que representaron cinco meses del desarrollo

#### Methodology to determine the concentration of soluble proteins

For the Quantitative method of total soluble protein, first a calibration curve where a solution of Bovine Serum Albumine Bio Rad® was used as standard to prepare known concentrations was established; absorbance readings were obtained from UV-visible spectrophotometer (Genesys 20® Thermo Scientific®).

To determine the concentration of soluble protein in the samples (*Caladium bicolor*), 10 mg of dry matter were weighed on an analytical scale (Pioneer Ohaus®) in 2 ml microtubes, a protein extraction solution was prepared (0.1 MKH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, 0.1 M Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> and 10% PVP), a steel ball was placed in the sample from the microtubes and added 1 ml of extraction solution, stirring was performed in a Vortex® (Thermo Scientific®) for 10 minutes to break cell walls. Centrifuged at 10 000 rpm at 4 °C in a refrigerated centrifuge (Axyspinr Refrigerated Microcentipge®) for 15 min, to extract 500  $\mu$ l of each microtube and place it in the cells for spectrophotometry, to which were added 500  $\mu$ l of solution Quickstart Bradford BioRad®; stirred and allowed to stand for 5 minutes, then obtain absorbance readings at a wavelength of 595 nm. The total soluble protein concentration in the samples was calculated using absorbance reading of each of the samples and calibration curve of soluble proteins described above.

#### Results and discussion

Data was collected throughout the growth cycle of *Caladium bicolor*, from flowering to dormancy stage, representing five months of physiological development of the plant. The application of organic products to cultivation of *Caladium bicolor*, had a positive effect on the concentration of starch in tuber as reported by Ewing and Wareing (1978) and Hartmann and Kester (1999).

To determine the concentration of starch and protein in tubers of *Caladium bicolor*, calibration curves were built for starch and the following model was obtained:  $y = 0.3063x - 0.0894$  with R<sup>2</sup> of 0.9822 (Figure 1). Similarly when plotting soluble protein curve and adding a trend line was obtained the following model:  $y = 0.5351x + 0.0052$  with R<sup>2</sup> = 0.9912 (Figure 2). After obtaining the mathematical models, these equations were used to determine the concentration of starch and soluble proteins (y) in function of the readings obtained from the spectrophotometer with regard to applied doses (x).



fisiológico de la planta. La aplicación de productos orgánicos al cultivo de *Caladium bicolor*, presentó un efecto positivo en la concentración de almidón en tubérculo de acuerdo a lo reportado por Ewing y Wareing (1978) y Hartmann y Kester (1999).

Para determinar la concentración de almidón y proteínas en los tubérculos de *Caladium bicolor*, se realizaron curvas de calibración para almidón y se obtuvo el modelo:  $y = 0.3063x - 0.0894$  con un  $R^2$  de 0.9822 (Figura 1). De igual manera al graficar la curva de proteínas solubles y agregar la línea de tendencia se obtuvo el siguiente modelo:  $y = 0.5351x + 0.0052$  con  $R^2 = 0.9912$  (Figura 2). Después de obtener los modelos matemáticos se utilizaron estas ecuaciones para determinar la concentración de almidón y proteínas solubles (y) en función de lecturas obtenidas del espectrofotómetro con respecto a las dosis aplicadas (x).

En base a los modelos generados, se determinó la concentración de almidón y proteínas solubles en función a los tratamientos planteados, donde se obtuvieron los siguientes resultados.

El análisis de varianza mostró diferencia estadística altamente significativa para la concentración de almidón y proteínas solubles en tubérculo, en el modelo general ( $Pr > F = 0.0001$ ) para ambos casos; con un  $R^2$  de 0.974 y un coeficiente de variación de 10.95 para el caso de almidón y para proteínas solubles 0.8294 y 6.10 respectivamente. El análisis estadístico para el almidón y las proteínas solubles (Cuadro 2), mostró diferencia estadística entre tratamientos (dosis de productos orgánicos), etapa vegetativa (floración, pre dormancia y dormancia) y la interacción entre éstos.

#### Cuadro 2. Diferencia estadística e interacción entre factores y niveles.

Table 2. Statistical difference and interaction between factors and levels.

| Variable independiente | Producto orgánico (PO) | Etapa vegetativa (EV) | Interacción PO*EV |
|------------------------|------------------------|-----------------------|-------------------|
| Almidón                | 0.0001 **              | 0.0001 **             | 0.0002 **         |
| Proteína               | 0.0002 **              | 0.0352 *              | 0.0001 **         |

\*\*diferencias altamente significativa; \*diferencias significativas.

En el cuadro anterior se observa que al menos un tratamiento en una etapa vegetativa es diferente a los demás, tanto para almidón como para proteínas solubles; en base a estos resultados, se realizó la prueba de medias con LSD ( $\alpha = 0.05$ ) las cuales se describen a continuación.

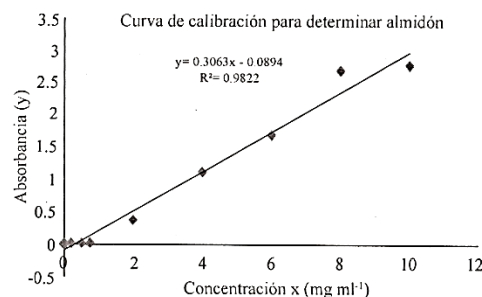


Figura 1. Curva de calibración para determinar concentraciones de almidón ( $\text{mg g}^{-1}$  de MS) en tubérculos de *Caladium bicolor*.

Figure 1. Calibration curve to determine the concentration of starch ( $\text{mg g}^{-1}$  of DM) in tubers of *Caladium bicolor*.

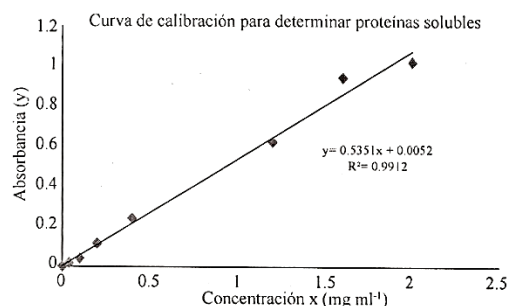


Figura 2. Curva de calibración para determinar concentraciones de proteínas solubles ( $\text{mg g}^{-1}$  de MS) en tubérculos de *Caladium bicolor*.

Figure 2. Calibration curve to determine the concentration of soluble proteins ( $\text{mg g}^{-1}$  of DM) in tubers of *Caladium bicolor*.

Based on the generated models, the concentration of starch and soluble proteins was determined according to treatment considerations, where the following results were obtained.

The analysis of variance showed highly significant statistical difference for the concentration of starch and soluble proteins in tuber, on the overall model ( $Pr > F = 0.0001$ ) for both cases; with an  $R^2$  of 0.974 and a coefficient of variation of 10.95 for starch and for soluble proteins

En el Cuadro 3, se muestra el comportamiento de las concentraciones de almidón en cada interacción (PO\*EV). Los tratamientos con dosis de 4 y 8 ml L<sup>-1</sup> en la etapa de dormancia resultaron estadísticamente iguales, siendo la dosis de 8 ml L<sup>-1</sup> el de mayor concentración de almidón con 885.18 mg gr<sup>-1</sup> de materia seca (MS), seguido por el tratamiento testigo. En la etapa de pre-dormancia y 8 ml L<sup>-1</sup> en pre-dormancia, continuando con el tratamiento 4 ml L<sup>-1</sup> en etapa de floración y etapa de pre-dormancia, testigo en etapa de pre-dormancia siendo estadísticamente igual al de 8 ml L<sup>-1</sup> en floración y siendo el de más baja concentración y diferente a los tratamientos anteriores el tratamiento testigo en floración. El testigo siempre mostró valores bajos con respecto a los tratamientos donde se aplicaron las dosis de productos orgánicos (ácidos húmicos y fúlvicos).

**Cuadro 3. Cantidad de almidón (mg g<sup>-1</sup> de MS) en tubérculo de *Caladium bicolor*.  
Table 3. Amount of starch (mg g<sup>-1</sup> DM) in tuber of *Caladium bicolor*.**

| Dosis de producto orgánico | Etapas fenológica | Media  |    |
|----------------------------|-------------------|--------|----|
| 8 ml L <sup>-1</sup>       | Dormancia         | 885.18 | a  |
| 4 ml L <sup>-1</sup>       | Dormancia         | 833.97 | a  |
| Testigo                    | Dormancia         | 634.62 | b  |
| 8 ml L <sup>-1</sup>       | Pre- dormancia    | 576.48 | b  |
| 4 ml L <sup>-1</sup>       | Floración         | 397.61 | c  |
| 4 ml L <sup>-1</sup>       | Pre- dormancia    | 330.98 | cd |
| 8 ml L <sup>-1</sup>       | Floración         | 267.62 | d  |
| Testigo                    | Pre- dormancia    | 250.62 | d  |
| Testigo                    | Floración         | 80.2   | e  |

Medias seguidas por la misma letra son estadísticamente iguales a un nivel de significancia de LSD ( $\alpha=0.05$ ).

En la etapa de dormancia aumentaron considerablemente las cantidades de almidón, ya que como todo órgano de almacenamiento de reservas que se utilice para la propagación vegetal, los tubérculos de *Caladium bicolor* requieren de un periodo de acomodación y regulación fisiológica denominado dormancia, para lograr activarse nuevamente y así generar nuevos brotes para continuar con la sobrevivencia de la especie. Cuando la planta emerge, el crecimiento de la parte aérea y el de la raíz es sincronizado, dos a cuatro semanas después de la emergencia inicia el crecimiento de los tubérculos y continúa durante un largo periodo asociándose un retraso en el crecimiento de los tubérculos con un crecimiento excesivo de la biomasa aérea (Alonso, 2002).

En la etapa de pre-dormancia y floración, el tratamiento con dosis de 4 ml L<sup>-1</sup>; presentó un descenso en la concentración de almidón en tubérculo, debido a que en esta etapa mostró mayor área foliar con respecto al de 8 ml L<sup>-1</sup>; mayor área

0.8294 and 6.10 respectively. Statistical analysis for starch and soluble proteins (Table 2) showed statistical difference between treatments (dose of organic products), vegetative stage (flowering, predormancy and dormancy) and the interaction between them.

The above table shows that at least one treatment in a vegetative stage is different from the rest, both starch and soluble proteins; based on these results, mean test was performed with LSD ( $\alpha=0.05$ ) which are described below.

Table 3, shows the behavior of the concentration of starch in each interaction (PO \* EV). Treatments with doses of 4 and 8 ml L<sup>-1</sup> at dormancy were statistically equal, being the dose of 8 ml L<sup>-1</sup> the highest concentration of starch with 885.18 mg g<sup>-1</sup>

dry matter (DM), followed by the control treatment. In predormancy and 8 ml L<sup>-1</sup> in predormancy, continuing treatment 4 ml L<sup>-1</sup> at flowering and pre-dormancy, control in predormancy being statistically equal to 8 ml L<sup>-1</sup> at flowering and being the lowest concentration and different to previous treatments the control treatment at flowering. Control always showed lower values compared to the treatments where the doses of organic products (humic and fulvic acids) were applied.

At dormancy the amounts of starch increased significantly, as every organ of reserve storage that is used for plant propagation, tubers of *Caladium bicolor* require a period of accommodation and physiological regulation called dormancy, to achieve activation again and generate new shoots to continue the survival of the species. When the plant emerges, the growth of the aerial part and root is synchronized, two to four weeks after emergence tubers

foliar significa mayor actividad en intercambio de gases con la atmósfera y por lo tanto el almidón se transportó a las hojas y raíces dejando por último el tubérculo, tal como lo menciona Villalobos (2001) en su investigación. Villacrés y Espín (1999) reportaron que el cultivo de papa contiene 82% de almidón y el cultivo de zanahoria 86% el cual se asemeja al tubérculo de *Caladium bicolor* ya que en la etapa de dormancia los tratamientos 8 y 4 ml L<sup>-1</sup> obtuvieron 88.5% y 83.3% respectivamente.

La concentración más alta de proteínas en tubérculo de *Caladium bicolor*, se observó en la etapa de floración y la más baja en la etapa de dormancia. En el caso de la concentración de almidón la respuesta fue de manera inversa. En el Cuadro 4 se observa igualdad estadística entre las dosis de 4 y 8 ml L<sup>-1</sup> en la etapa de floración y dosis de 8 ml L<sup>-1</sup> en la etapa de pre-dormancia, siendo éste último igual al tratamiento testigo en floración y al tratamiento con la dosis de 4 ml L<sup>-1</sup> en pre-dormancia, mostrando igualdad entre los tratamientos de 8 ml L<sup>-1</sup>, 4 ml L<sup>-1</sup> en etapa de dormancia y testigo en la etapa de pre-dormancia; testigo en etapa de floración estadísticamente fue diferente a los tratamientos anteriores obteniendo la menor concentración.

**Cuadro 4. Cantidad de proteína (mg g<sup>-1</sup> de MS) en tubérculo de *Caladium bicolor*.**

**Table 4. Amount of protein (mg g<sup>-1</sup> DM) in tuber of *Caladium bicolor*.**

| Dosis de producto orgánico | Etapa fenológica | Media   |    |
|----------------------------|------------------|---------|----|
| 4 ml L <sup>-1</sup>       | Floración        | 156.043 | a  |
| 8 ml L <sup>-1</sup>       | Floración        | 150.547 | a  |
| 8 ml L <sup>-1</sup>       | Pre- dormancia   | 143.053 | ab |
| Testigo                    | Dormancia        | 131.713 | bc |
| 4ml L <sup>-1</sup>        | Pre- dormancia   | 129.48  | bc |
| 8 ml L <sup>-1</sup>       | Dormancia        | 125.283 | c  |
| 4 ml L <sup>-1</sup>       | Dormancia        | 123.68  | c  |
| Testigo                    | Pre- dormancia   | 122.96  | c  |
| Testigo                    | Floración        | 106.507 | d  |

Medias seguidas por la misma letra son estadísticamente iguales a un nivel de significancia de LSD ( $\alpha=0.05$ ).

Los tratamientos con dosis de 4 y 8 ml L<sup>-1</sup> mostraron mayor concentración de proteína en la etapa de floración, debido que la planta presentó mayor número de hojas lo que se traduce a una mayor actividad fotosintética y por lo tanto mayor producción de proteínas, en comparación a la etapa de dormancia cuando el tubérculo ya no cuenta con hojas. Espín *et al.* (2001) reportaron que cultivos tuberosos como zanahoria y jícama contienen 5.15 y 5.64% de proteínas los cuales son superados por estos tratamientos ya que el rango que muestra el tubérculo de *Caladium bicolor* es de 10.6 a 15.6% de proteína.

growth initiate and continues for a long period associating a delay in the growth of tubers with excessive growth of aboveground biomass (Alonso, 2002).

At pre-dormancy and flowering, the treatment with doses of 4 ml L<sup>-1</sup>; showed a decrease in the concentration of starch in the tuber, due to at this stage showed greater leaf area compared to that of 8 ml L<sup>-1</sup>; greater leaf area means higher activity in gas exchange with the atmosphere and therefore the starch is transported to the leaves and roots leaving at last the tuber, as Villalobos (2001) mentions in his research. Villacrés and Espin (1999) reported that the potato contains 82% starch and carrot 86%, which resembles to tuber of *Caladium bicolor* since in dormancy the treatments 8 and 4 ml L<sup>-1</sup> obtained 88.5% and 83.3% respectively.

The highest concentration of protein in tuber of *Caladium bicolor* was observed at flowering and the lowest at dormancy. For concentration of starch the response was inversely. Table 4 shows statistical equality between doses of 4 and 8 ml L<sup>-1</sup> at flowering and dose of 8 ml L<sup>-1</sup> at predormancy, the latter being equal to the control treatment at flowering and to treatment with dose of 4 ml L<sup>-1</sup> at

predormancy showing equality between treatments of 8 ml L<sup>-1</sup>, 4ml L<sup>-1</sup> at dormancy and control at predormancy; control at flowering was statistically different from previous treatments obtaining the lowest concentration.

Treatments with doses 4 and 8 ml L<sup>-1</sup> showed higher protein concentration at flowering stage due to the plant showed a higher number of leaves which translates to increased photosynthetic activity and thus increased production of proteins, compared to dormancy stage when the tuber no longer has leaves. Espín *et al.* (2001) reported that tuberous

La fertilización no solo influye en el rendimiento sino también en la calidad del tubérculo; se ha encontrado que el contenido de almidón del tubérculo depende del porcentaje y densidad de la materia seca así como del porcentaje del aire en tejidos (Talbur y Smith, 1967 citado por Sifuentes *et al.*, 2013), pero disminuye al aumentar los niveles de NPK ya que éstos elementos son los que determinan el contenido y la calidad del tubérculo (Kunkel y Holstad, 1972). Ante el incremento acelerado de los precios de los fertilizantes, la presencia de sequía recurrente, bajo grado de aprovechamiento de fertilizantes, contaminación de agua superficial y subterránea por fertilizantes nitrogenados y fosfóricos (Ierna *et al.*, 2011) así como el incremento en la variabilidad climática, es imperante el manejo de la fertilización del cultivo y el aprovechamiento de los productos orgánicos.

## Conclusiones

La fertilización orgánica en el cultivo de *Caladium bicolor*, influye de manera positiva en la concentración de almidón y proteínas en el tubérculo en las diferentes etapas fisiológicas. La óptima aclimatación de la planta a condiciones adversas, depende en gran parte a las reservas vegetativas del cultivo, ya que a una mayor concentración de estas se traduce en un mayor número de plantas y por ende a un mayor rendimiento.

El presente experimento servirá de antecedente para seguir generando conocimiento científico y tecnológico sobre el manejo de este cultivo, mediante la manipulación de diferentes tratamientos y la medición de otras variables importantes en el desarrollo vegetativo. La reproducción y comercialización de especies ornamentales en la región tiende a ser una excelente alternativa para mejorar el ecosistema urbano, mejorando la calidad de vida de los ciudadanos y de los productores de éste tipo de plantas.

## Literatura citada

- Aganga, A. A. and Tshwenyane, S. O. 2003. Lucerne, lablab and Leucaena leucocephala forages: Production and utilization for livestock production. *Pakistan J. Nutrit.* 2:46-53.
- Alonso, A. F. 2002. El cultivo de la patata. 2ª (Ed.). Editorial Mundi-Prensa. Barcelona. 494 p.
- Álvarez, R. A.; Goulet, P. and Garrido, J. 2004. Characterization of the porous structure of different humic fractions. *Colloids and surface.* 129-135 pp.

crops such as carrots and jicama that contain 5.15 and 5.64% of protein respectively which are exceeded by these treatments since the range that the tuber of *Caladium bicolor* show is 10.6 to 15.6% of protein.

Fertilization not only affects yield but also tuber quality; it has been found that starch content of the tuber depends on the percentage and density of dry matter as well as the percentage of air in tissues (Talbur and Smith, 1967 cited by Sifuentes *et al.*, 2013), but decreases with increasing levels of NPK since these elements are those determining the content and quality of the tuber (Kunkel and Holstad, 1972). Given the accelerated increase in fertilizer prices, the presence of recurrent drought, low degree of fertilizer utilization, pollution of surface and groundwater water by nitrate and phosphate fertilizers (Ierna *et al.*, 2011) and the increase in climate variability, it is imperative to manage crop fertilization and utilization of organic products.

## Conclusions

Organic fertilization in the cultivation of *Caladium bicolor* has a positive influence on the concentration of starch and protein in the tuber in different physiological stages. The optimal plant acclimation to adverse conditions depends largely on vegetative reserves from the crop, since higher concentrations of these translate in a larger number of plants and hence higher yield.

This experiment will serve as background to continue to generate scientific and technological knowledge on the management of the crop, through manipulation of different treatments and measurement of other important variables in vegetative development. The reproduction and marketing of ornamental species in the region tends to be an excellent alternative to improve urban ecosystem, improving the quality of life of citizens and producers of this type of plant.

*End of the English version*



- Baguma, Y.; Sun, Ch.; Ahlandsberg, S.; Mutisya, J.; Palmqvist, S.; Rubaihayo, P.; Magambo, M.; Egwang, T.; Larsson, H. and Jansson, C. 2003. Expression patterns of the gene encoding starch branching enzyme II in the storage roots of cassava (*Manihot esculenta* Crantz). *Plant Sci.* 164:833-839.

- Brigante, M.; Zanini, G. y Avena, M. 2006. Efecto de ácidos carboxílicos en la cinética de disolución de ácidos húmicos. Sección E. Química de sólidos, superficies, interfaces y materiales. Bahía Blanca, Argentina. 1 p.
- Espín, S.; Brito, B.; Villacrés, E.; Rubio, A.; Nieto, C. y Grijalva, J. 2001. Composición química, valor nutricional y usos potenciales de siete especies de raíces y tubérculos andinos. Acta Científica Ecuatoriana. Ambato, Ecuador. 7(1):49.
- Evans, M. R.; Harbaugh, B. K.; Wilfret, G. J. 1993. Caladiums as potted and landscape plants. Circular 1060. Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida. 9 p.
- Ewing, E. E. and Wareing, P. F. 1978. Shoot, stolon and tuber formation on potato (*Solanum tuberosum* L.) cuttings in response to photoperiod. Plant Physiol. 61:348-353.
- Hartmann, H. and Kester, D. 1999. Propagación de plantas. Principios y práctica. Séptima edición, México, D. F. 532-534 pp.
- Ierna, A.; Pandino, G.; Lombardo, S. and Mauromicale, G. 2011. Tuber yield, water and fertilizer productivity in early potato as affected by a combination of irrigation and fertilization. Agric. Water Manag. 101:35-41.
- Koslowski, T. T. and Pallardy, S. G. 1997. Physiology of woody plants. Academic Press. New York, N.Y. 411 p.
- Kunkel, R. and Holstad, N. 1972. Potato chip color, specific gravity and fertilization of potato with N-P-K. Am J. Potato Res. 49:43-62.
- López, S. R. 2009. Comportamiento de tres ácidos fúlvicos en la nutrición y distribución de raíz del chile piquín y naranjo. Tesis de Maestría en Ciencias Forestales. Universidad Autónoma de Nuevo León, Linares, Nuevo León, México.
- Mayol, M.; Bogner J. and Boyce, P. C. 1997. The genera of araceae I-XII. Royal Botanic Gardens, Kew. 370 p.
- O'Kennedy, B. T. and Titus, J. S. 1979. Isolation and mobilisation of storage proteins from apple shoot bark. Physiol. Plant. 45. 419-424 pp.
- Péret, B.; De Rybel, B.; Casimiro, I.; Benkova, I.; Swarup, R.; Laplace, L.; Beeckman, T. and Bennett, M. J. 2009. Arabidopsis lateral root development: an emerging story. Trends Plant Sci. 14:399-408.
- Potisek, T. M. C.; González, C. G.; Velásquez, V. M. y Macías, R. H. 2013. Efecto del ácido fúlvico en la extracción nutrimental y rendimiento del cultivo de melón en bioespacio. AGROFAZ. 13(2):23-29.
- Sauter, J. J.; Van Cleve, B. and Apel, K. 1990. Protein bodies in ray cells of *Populus x Canadensis* Moench 'robusta'. Planta. 173:31-34.
- Scott, G.; Rosegrant, M. y Ringler, C. 2000. Tendencias y proyecciones para los cultivos de raíces y tubérculos para el año 2020. Alimentos, Agricultura y Medio Ambiente. Documento de discusión IFPRI-CIP. Washington, DC.
- Shah, M.; Mateen, A. and Amin, N. 2007. Effect of various amended organic media on the tuberization of caladium cultivars. Department of Horticulture. Faculty of Crop Production Sciences, NWFU Agricultural University, Peshawar Sarhad. J. Agric. 23-4.
- Sifuentes, E.; Ojeda, W.; Mendoza, C.; Macías, J.; Rúelas, J. e Inzunza, M. 2013. Nutrición del cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) considerando variabilidad climática en el "Valle del Fuerte" Sinaloa, México. Rev. Mex. Cienc. Agric. 4(4):585-597.
- Staswick, P. E. 1994. Storage proteins of vegetative plant tissue. Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol. 45:303-322.
- Statistical Analysis System (SAS). 1998. Institute. SAS for Windows. Release 6-12, version 4.0.1111. SAS Campus Drive. North Carolina. USA.
- Stepien, V. and Martin, F. 1994. Purification, characterization and localization of the bark storage proteins of poplar. Plant Physiol. Biochem. 30:399-407.
- Talbur, W. and Smith, O. 1967. Potato processing. 4<sup>th</sup> (Ed.). AVI Publishing Company, California. 588.
- Tester, R.; Karkalas, J. and Qi, X. 2004. Starch structure and digestibility Enzyme-Substrate relationship. World's Poul Sci J. 60:186-196.
- Valenzuela, L. M.; Gérant, D.; Maillard, P.; Bréda, N.; González, G. y Sánchez, I. 2011. Evidence for 26kDa vegetative storage protein in the stem sapwood of mature pedunculate oak. Interciencia. 36(2):142-147.
- Villacrés, E. y Espín, S. 1999. Evaluación y rendimiento, características y propiedades del almidón de algunas raíces y tubérculos andinos. *In*: raíces y tubérculos andinos. Avances de la investigación Tomo I. Centro Internacional de la Papa. Lima, Perú. 25-35 pp.
- Villalobos, E. 2001. Fisiología de la producción de los productos tropicales. EUCR. San José, Costa Rica. 228 p.
- Viser, S. A. 1986. Effect of humic substances on plant growth. *In*: Burns, R. (Eds.). Humic substances, effects on soil and plants. Reda Ramo Editoriale degli agricoltori. Milan, Italia.

## 2.2. ARTÍCULO 2

**ESTUDIO DEL USO DE SUSTANCIAS ORGÁNICAS PARA INDUCIR  
CRECIMIENTO EN RAÍZ Y TUBÉRCULO CARACTERIZADAS POR  
ESPECTOFOTOMETRÍA INFRARROJA Y ANÁLISIS DE IMAGEN**

**(Estudio de caso *Caladium bicolor*)**

STUDY OF SUBSTANCE USE ORGANIC TO INDUCE GROWTH IN ROOT AND  
TUBER spectrophotometry CHARACTERIZED BY INFRARED AND IMAGE  
ANALYSIS

(Case study *Caladium bicolor*)

Ixchel Abby Ortiz Sánchez<sup>1</sup>, Guillermo González Cervantes<sup>2</sup>, Vicente de Paul  
Álvarez Reyna<sup>3</sup>, María Del Carmen Potisek Talavera<sup>2</sup>, Jorge Armando Chávez  
Simental<sup>4</sup>, Luis Manuel Valenzuela Nuñez<sup>5</sup>, Maritza Argelia Macías Corral<sup>6</sup>

Revista Agrocienca: Enviado para revisión.

**ESTUDIO DEL USO DE SUSTANCIAS ORGÁNICAS PARA INDUCIR  
CRECIMIENTO EN RAÍZ Y TUBÉRCULO CARACTERIZADAS POR  
ESPECTOFOTOMETRÍA INFRARROJA Y ANÁLISIS DE IMAGEN**

**(Estudio de caso *Caladium bicolor*)**

**STUDY OF SUBSTANCE USE ORGANIC TO INDUCE GROWTH IN ROOT AND  
TUBER SPECTROPHOTOMETRY CHARACTERIZED BY INFRARED AND  
IMAGE ANALYSIS**

**(Case study *Caladium bicolor*)**

Ixchel Abby Ortiz Sánchez<sup>1</sup>, Guillermo González Cervantes<sup>2</sup>, Vicente de Paul Álvarez Reyna<sup>3</sup>, María Del Carmen Potisek Talavera<sup>2</sup>, Jorge Armando Chávez Simental<sup>4</sup>, Luis Manuel Valenzuela Nuñez<sup>5</sup>, Maritza Argelia Macías Corral<sup>6</sup>

<sup>1</sup>Estudiante de Posgrado de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro-Unidad Laguna, Periférico y carretera Santa Fe S/N C.P. 27059, Torreón, Coahuila. <sup>2</sup>Centro Nacional de Investigación Disciplinaria y en Relación Agua Suelo Planta Atmósfera, Km. 6.5 Margen derecha canal de Sacramento C.P 35140, Gómez Palacio, Dgo. <sup>3</sup>Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro-Unidad Laguna, Periférico y carretera Santa Fe S/N C.P. 27059, Torreón, Coahuila. <sup>4</sup>Instituto de Silvicultura e Industria de la Madera de la Universidad Juárez del Estado de Durango; Blvd. Guadiana #501 Ciudad Universitaria C.P. 34120, Durango, Dgo. <sup>5</sup>Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Juárez del Estado de Durango, Av. Universidad s/n. Fracc. Filadelfia C.P. 35100, Gómez Palacio, Dgo. <sup>6</sup> CONACYT, Av. Insurgentes Sur 1582, Col. Crédito

Constructor, Del. Benito Juárez, C.P.: 03940, México, D.F. Comisionado al Centro de Investigación en Materiales Avanzados, S.C. CIMAV-Unidad Durango.

Autor de correspondencia: gonzalez.guillermo@inifap.gob.mx

## RESUMEN

La introducción de cultivos ornamentales a la Comarca Lagunera, en la actualidad es una gran oportunidad de mercado para los productores del ámbito floral, tal es el caso del *Caladium bicolor* el cual se exporta a Europa, Estados Unidos, islas del Caribe, y África (Betancur *et al.* 2007). El uso de productos orgánicos derivados del estiércol de ganado bovino para la fertilización, han demostrado que mejoran las condiciones físicas del suelo, aportan una cantidad importante de nutrientes a las plantas y ofrecen una reducción en los costos de producción (González, 2005). Por lo anterior el objetivo del presente estudio fue cuantificar el crecimiento de tubérculo y raíz de la planta ornamental *Caladium bicolor* mediante la aplicación de fertilizante orgánico. Los tratamientos consistieron en tres dosis de producto orgánico (0 (testigo), 4 y 8 ml L<sup>-1</sup>). Las variables fueron medidas en base a la técnica de análisis de imagen y la caracterización del estiércol mediante la técnica de espectrofotometría infrarroja. Los datos obtenidos fueron analizados bajo un diseño completamente al azar y se utilizó la prueba de Tukey para la comparación de medias. El tratamiento con dosis de 8 ml L<sup>-1</sup> de fertilizante orgánico en comparación con la dosis de 4 ml L<sup>-1</sup> y el testigo, fue el que mostró un mayor crecimiento del tubérculo de 126.61 %, y el área raíz fue 37.485 mm<sup>2</sup> en un período de cuatro meses agosto a diciembre 2012. En las condiciones experimentales descritas se concluye que con la aplicación del fertilizante orgánico



extraído de estiércol bovino muestra una alta capacidad de adsorción debido a carboxilos, oxhidrilos, aminas, amidas (compuesto similar a la auxina) y metilos, en su conjunto inducen crecimiento tubérculo y la zona de raíz en el cultivo de "*Caladium bicolor*".

**Palabras clave:** *Caladium bicolor*, fertilización, análisis de imagen, cultivo ornamental.

## INTRODUCCIÓN

La raíz es el órgano de la planta que se ancla al suelo, absorbe y transporta el agua y minerales esenciales para su crecimiento. En condiciones normales, el crecimiento de la raíz depende de la disponibilidad del agua en el suelo y de la presencia de nutrimentos y hormonas de crecimiento (Taiz y Zeiger, 2010). Las alteraciones en los procesos como la división celular de los meristemos, la formación de raíces laterales y la formación de pelos radicales pueden tener efectos importantes en la arquitectura del sistema radical y en su capacidad de crecer en suelos con una disponibilidad limitada de nutrimentos (Péret *et al.*, 2009).

La reproducción de ciertas plantas es a partir de la emisión y la multiplicación de tubérculos, los cuales son tallos subterráneos modificados para almacenar reservas que se ubican entre una porción mínima aérea del tallo o las hojas, y la raíz, que a diferencia de la raíz, tienen la función de almacenar sustancias alimenticias para la nutrición de la planta y su posterior reproducción (Péret *et al.*, 2009). Los tubérculos más conocidos son los comestibles como la papa, la zanahoria y el rábano, entre otros; sin embargo, existen otros en plantas ornamentales comunes en jardinería, como el ciclamen o algunas begonias, los alcatraces, y Corazón de Cristo (*Caladium* sp.).

En la agricultura orgánica, ecológica o biológica, se utilizan insumos naturales mediante prácticas especiales como la composta, los abonos verdes, las asociaciones y la rotación de cultivos (Márquez *et al.*, 2005). El estiércol es el desecho del ganado que se considera materia prima básica para realizar composta, ya que cumple con una función importante en el reciclaje de nutrientes orgánicos y se le puede considerar como un abono universal. Aunque las características son muy variables dependiendo del tipo de animal que lo produce, de su dieta y del método de manejo utilizado (estabulado o pastoreo) en su crianza; un buen manejo aeróbico del estiércol resulta en un producto benéfico para la fertilidad del suelo e inocuo, es decir seguro desde una perspectiva de seguridad alimentaria (Serrato *et al.*, 2002).

La producción del estiércol de ganado bovino ocupa el primer lugar en la Comarca Lagunera, ya que es una de las principales cuencas lecheras del país con más de 223,547 vientres que generan 1,177,370 kg de estiércol por día; por lo tanto, este desecho se debe aprovechar para evitar focos de infección como contaminación ambiental y de cuerpos de agua, además de los aportes menores en la región del estiércol de cabra, caballo y conejo (Fortis *et al.*, 2009; SAGARPA, 2009).

La materia orgánica (MO), es la suma total de las sustancias orgánicas que contienen carbono y al descomponerse, su principal aporte consiste en sustancias húmicas (SH) (Schnitzer y Khan, 1978). De acuerdo a Chefetz *et al.* (2002), las SH constituyen una categoría de compuestos orgánicos heterogéneos que pueden caracterizarse por su color amarillo a negro, de alto peso molecular y refractariedad (Aiken, 1985). Las definiciones de las fracciones de las SH se basan en sus características de solubilidad en sistemas acuosos (Hayes y Clapp, 2001); representan la suma total de ácidos húmicos, ácidos

fúlvicos y huminas presentes. Esta clasificación es necesaria para aislar y caracterizar a estas fracciones (Schnitzer *et al.*, 2000).

Actualmente, las SH están despertando el interés de los productores del campo, ya que entre sus múltiples beneficios posibilitan un mejor aprovechamiento de los fertilizantes foliares y radicales, además de estimular el crecimiento general de la planta, lo cual se traduce en un mayor rendimiento y una mejor calidad de cosecha. Por lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue inducir el crecimiento de raíces y tubérculos mediante la aplicación de sustancias orgánicas derivadas de estiércol bovino, en *Caladium bicolor* (nombre común de la ornamental) y cuantificar su crecimiento.

## **MATERIALES Y METODOS**

### **Localización del sitio experimental**

El experimento se realizó entre el mes de agosto y el mes de diciembre de 2012 en las instalaciones del invernadero ubicado en el fraccionamiento “Las Trojes”, antigua carretera Torreón - San Pedro Km. 5 en Torreón, Coahuila.

Según la clasificación de Köeppen modificado por García (1981), el clima de la región es seco desértico o estepario cálido con lluvias en el verano e invierno frescos. La precipitación pluvial promedio es de 258 mm y la temperatura media anual es de 22.1 °C, con rango de 38.5 °C como media máxima y 16.1 °C como media mínima. La evaporación anual media aproximadamente es de 2,396 mm. La presencia de las heladas ocurre de noviembre a marzo y en ocasiones en octubre y abril, mientras que la presencia de granizada se da entre mayo y junio.

### Área experimental y distribución de tratamientos

El área experimental se estableció con el manejo de tres tratamientos los cuales se conformaron de 25 unidades experimentales cada uno (repeticiones); los tratamientos consistieron en la aplicación de dos dosis de fertilizante orgánico y un testigo; las dosis fueron medidas y aplicadas en litros por unidad experimental y al testigo sólo se aplicó agua (Cuadro 1).

**Cuadro 1. Tratamientos del producto orgánico.**

| Tratamientos | Dosis de Producto orgánico |
|--------------|----------------------------|
| T1 (Testigo) | 0                          |
| T2           | 4 ml L <sup>-1</sup>       |
| T3           | 8 ml L <sup>-1</sup>       |

### Siembra y aplicación de tratamientos

La siembra de *Caladium bicolor* “Corazón de Cristo” se realizó en el mes de agosto, donde se estableció el tubérculo en sustrato Peat moss a una profundidad de 10 cm colocándolo al centro de la maceta; las macetas utilizadas fueron de material plástico color negro cuya capacidad es de 11,314.47 cm<sup>3</sup>.

La aplicación de los tratamientos se realizó a los 8 días después de la siembra (dds) y se efectuó una segunda aplicación en la etapa de floración (45 dds). Los tratamientos se aplicaron de manera manual, disolviendo la dosis correspondiente del fertilizante en un litro de agua para cada maceta. El riego de las plantas se efectuó diariamente para

mantenerlo con suficiente humedad ya que este cultivo es nativo de la región del Amazonas por lo que la demanda hídrica es alta.

### **Espectrofotometría de infrarrojo**

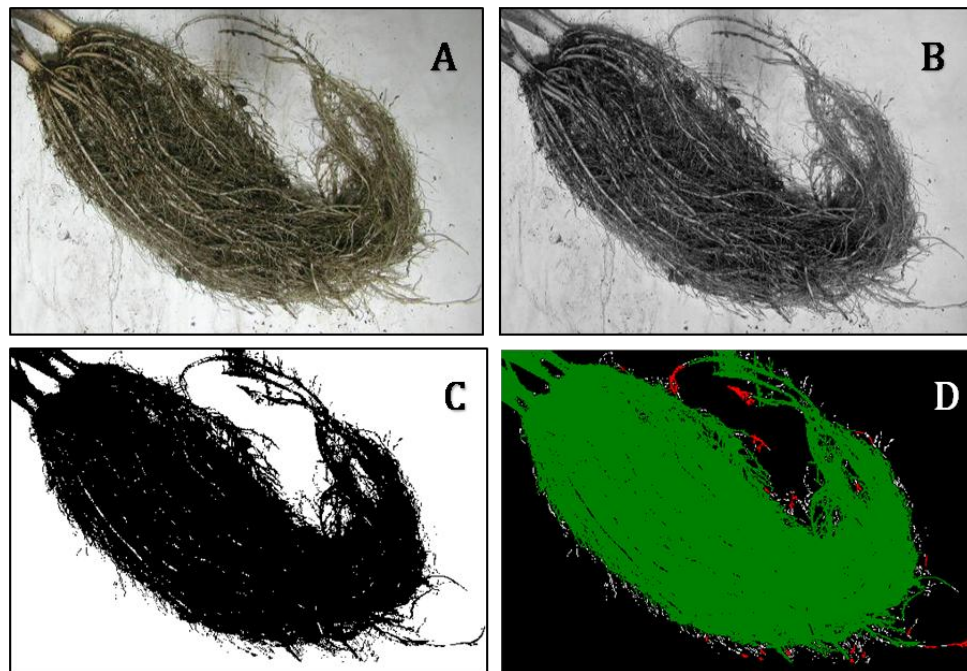
El producto orgánico que se empleó en el experimento se obtiene mediante la elaboración de composta de estiércol bovino; se deposita en recipientes de 30 mil L y se añade agua hidróxido de potasio; finalmente, se realiza la licuefacción durante 7 días. Los grupos funcionales se identificaron mediante la generación de espectrogramas utilizando un espectrofotómetro de infrarrojo medio (MIR por sus siglas en inglés), marca Perkin Elmer modelo Spectrum 400 FT-IR/FT-NIR Spectrometer operado a 20°C y seleccionando una longitud de onda de 4000 a 500  $\text{cm}^{-1}$ .

### **Análisis de imagen**

El procedimiento para la medición del crecimiento de raíz consistió en tomar tres muestras al azar por tratamiento a los 15, 30, 60, 90, 120 dds durante el ciclo vegetativo; se extrajo la planta de la maceta y se limpio la raíz retirando todo el sustrato de para dejar visibles los objetos a digitalizar. En el caso de los tubérculos, éste análisis solo se realizó antes de la siembra y en la etapa de latencia. Posteriormente, se realizó la digitalización de la muestra con una cámara digital marca Olympus con sensor óptico CCD de 4.1 megapíxeles; se colocó papel milimétrico en la base de digitalización para usarlo como guía de medición que se utiliza para la calibración del software. Posteriormente, se colocaron los tubérculos y raíces en la base de digitalización para capturar la imagen considerando una misma distancia entre la base y la cámara para ser

analizadas bajo una misma escala. Antes de tomar las imágenes se ajustó la cantidad e intensidad de luz para lograr imágenes nítidas y de buena calidad.

El tratamiento y análisis de imagen (Figura 1) se realizó con el software Image Pro Plus® versión 4.5 (Media Cibernética Maryland, USA) en entorno personal (PC) con base en las imágenes tomadas (González *et al.*, 2005); en base a las imágenes capturadas se determinó el área de tubérculo y la raíz de *Caladium bicolor* en unidades de mm<sup>2</sup>.

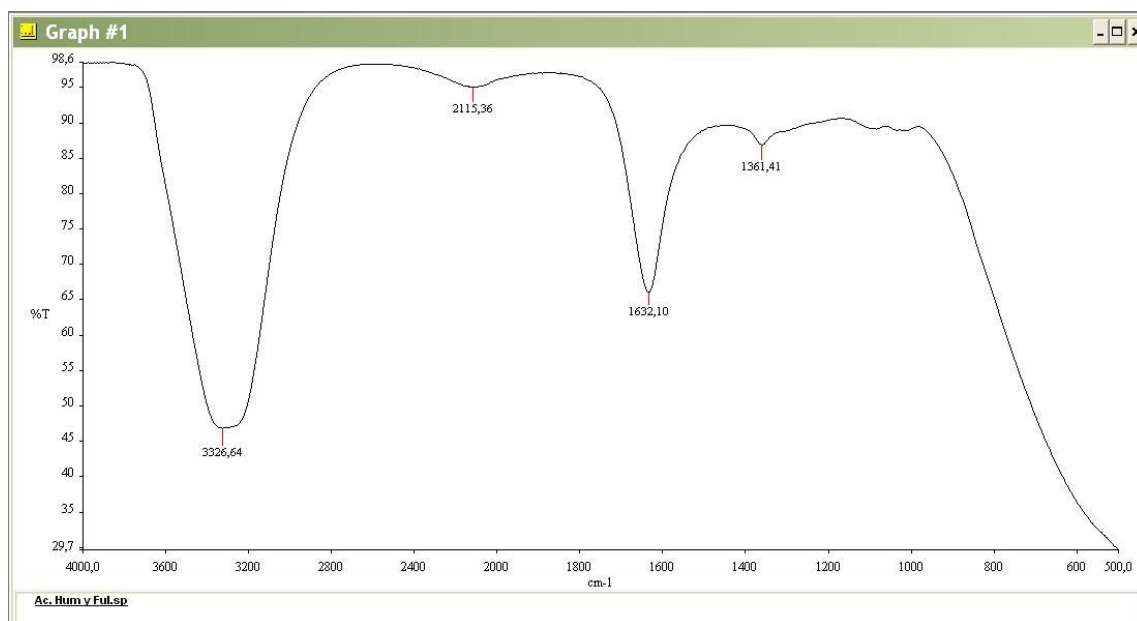


**Figura 1. Análisis de crecimiento de raíz mediante análisis de imagen. A) Imagen Real; B) Imagen en escala de grises; C) Imagen Binaria; D) Clasificación de objeto (Área).**

Los datos obtenidos se analizaron bajo un diseño experimental completamente al azar. Mediante el software SAS Ver. 9.11 (1998) donde se realizó el análisis de varianza y la comparación de medias utilizando la prueba Tukey ( $\alpha=0.05$ ).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El producto orgánico después de su extracción se pudo observar en el espectrograma de la Figura 2. La línea de color oscuro indica las señales o grupos funcionales que participan con mayor frecuencia en los procesos de intercambio iónico: el  $\text{-OH}$  del extractante, se presenta en la banda de  $1361\text{ cm}^{-1}$ , N-H amins o amidas en  $1632\text{ cm}^{-1}$  y grupos funcionales libres  $\text{-OH}$  en  $3326\text{ cm}^{-1}$ ; el grupo  $\text{-CH}_3$  se limita a la banda en  $2115\text{ cm}^{-1}$ .



**Figura 2. Espectro en infrarrojo medio del producto orgánico.**

Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Chassapis *et al.* (2010), con respecto al uso de un espectro infrarrojo típico, donde se demuestran las interacciones y diferencias existentes en las sustancias húmicas, absorción, adsorción o asociaciones de los diferentes grupos fenólicos de importancia que se encuentran distribuidos en las

regiones 1050, 1650 y 3400  $\text{cm}^{-1}$ . También se observa que las propiedades fisicoquímicas de las sustancias húmicas varían según su origen (Fukushima y Tatsumi, 2006), son biopolímeros multifuncionales amorfos, compuestos por cientos de componentes orgánicos que incluyen carbohidratos y anillos aromáticos condensados, que pueden ser sustituidos por grupos fenólicos, carboxilos, oxhidrilos y metilos, donde estos resultados concuerdan con los obtenidos por Peuravuori *et al.* (2006) y Evangelou *et al.* (1999). Estos grupos tienen la particularidad de hacer más complejos, a través de quelación, los y/o cationes en la solución del suelo, llevarlos a la pared celular de la raíz, como sucede habitualmente con los agentes quelatantes reales, para transportarse con los nutrimentos por el torrente xilemático hacia los puntos de crecimiento de la planta.

### **Crecimiento de tubérculo y raíz**

El ciclo vegetativo del *Caladium bicolor* se realiza entre los meses de marzo y diciembre; cabe destacar que este experimento abarcó desde el mes de agosto al mes de diciembre, por lo que solo se tomaron datos de cuatro meses de desarrollo fisiológico.

### **Crecimiento de tubérculo**

La aplicación de producto orgánico mostró un efecto positivo en el crecimiento de tubérculo. El tratamiento donde se aplicaron 8  $\text{ml L}^{-1}$  de producto orgánico presentó crecimiento de 126.61% (Cuadro 3), ya que el área de tubérculo inicial fue de 1,810.94  $\text{mm}^2$  y para el final del ciclo en la etapa de dormancia presentó un área de 4,103.83  $\text{mm}^2$ . El tratamiento donde se aplicaron 4  $\text{ml L}^{-1}$  también mostró un aumento significativo del 56.86% en relación con su tamaño inicial; los tubérculos del tratamiento



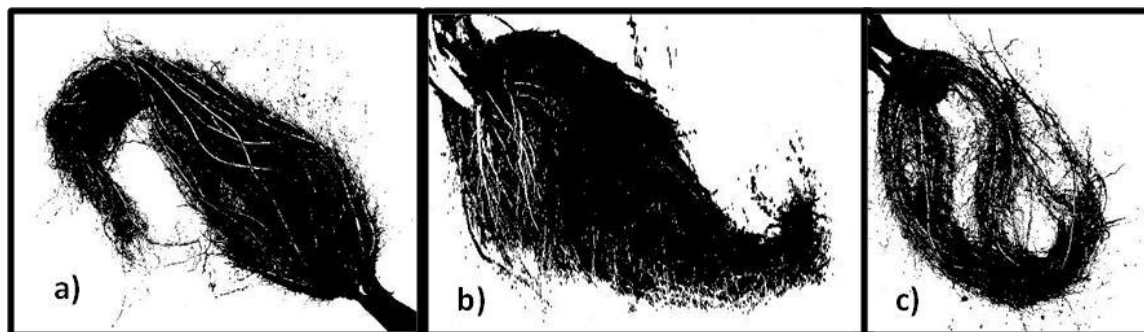
testigo se desarrollaron de manera normal presentando crecimiento no significativo, ya que sólo aumentó su tamaño un 1.37% en relación al tamaño inicial.

**Cuadro 3. Crecimiento de tubérculo con tratamiento orgánico.**

| Tratamiento        | Área inicial       | Área final         | Crecimiento |
|--------------------|--------------------|--------------------|-------------|
| ml L <sup>-1</sup> | (mm <sup>2</sup> ) | (mm <sup>2</sup> ) | (%)         |
| Testigo            | 2,012.19           | 2,039.8            | 1.37        |
| 4                  | 2,219.96           | 3,482.29           | 56.86       |
| 8                  | 1,810.94           | 4,103.83           | 126.61      |

#### Crecimiento de raíz

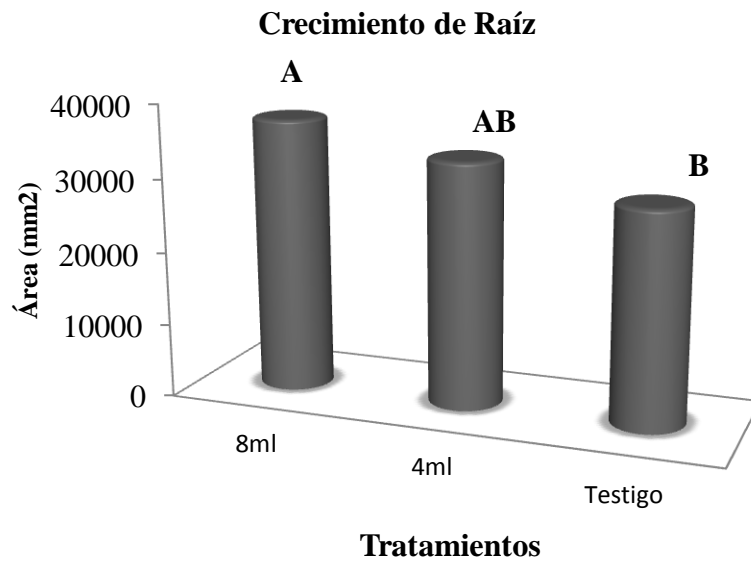
En la Figura 4 se muestran las imágenes del desarrollo de raíz bajo una misma escala, donde se observa que el tratamiento de 8 ml L<sup>-1</sup> produjo mayor área.



**Figura 4. Crecimiento de raíz con diferentes tratamientos. (a) Tratamiento de 4 ml L<sup>-1</sup> b) Tratamiento de 8 ml L<sup>-1</sup> c) Tratamiento testigo)**

El análisis de varianza mostró que la variable de crecimiento de raíz resultó altamente significativa ( $Pr > F = 0.0001$ ); esto indicó que al menos uno de los tres tratamientos experimentales produjo mayor crecimiento de raíz.

Al aplicar la prueba de comparación de medias (Tukey), el tratamiento de 8 ml L<sup>-1</sup> de producto orgánico generó mayor desarrollo, ya que presentó un crecimiento medio de área de raíz de 37,485 mm<sup>2</sup>; el tratamiento de 4 ml L<sup>-1</sup> generó un crecimiento de raíz de 33,456 mm<sup>2</sup>, siendo estadísticamente igual al de 8 ml L<sup>-1</sup>. El testigo mostró el menor crecimiento con 29,260 mm<sup>2</sup> de área radicular presentando igualdad estadística con el tratamiento de 4 ml L<sup>-1</sup>, pero no al de 8ml L<sup>-1</sup>. (Figura 5).



**Figura 5. Comparación de medias de crecimiento de raíz. (Medias con diferente letra son estadísticamente diferentes.  $\alpha=0.05$ )**

El uso de estiércoles para la fertilización en la agricultura contribuye a incrementar el rendimiento en los cultivos, ya que aportan los elementos esenciales que requieren para su desarrollo, y al mismo tiempo, tienen un efecto residual mayor que el de los fertilizantes químicos que permite liberar nutrimentos en forma gradual. Esto favoreció la disponibilidad de nutrientes para el cultivo de *Caladium bicolor*, que aprovechó el contenido de nutrimentos del producto orgánico, el cual tuvo una relación directa y positiva entre la dosis evaluada y el crecimiento del tubérculo y raíz.

### CONCLUSIONES

El uso de técnicas de aproximación como la espectrofotometría infrarroja y el análisis de imagen permitió identificar y comparar los grupos funcionales de las sustancias orgánicas y el crecimiento de la raíz y el tubérculo de *Caladium bicolor*.

El fertilizante orgánico extraído de estiércol bovino muestra una alta capacidad de adsorción debido a carboxilos, oxhidrilos, aminas, amidas y metilos. Los radicales libres de oxhidrilos se detectan en los intervalos altos de número de onda, diferenciándose de los oxhidrilos provenientes del diluyente (KOH) porque este produce intervalos bajos de número de onda.

Con la realización de éste trabajo, fue posible ampliar el conocimiento sobre el comportamiento de la estimulación de crecimiento de tubérculo y raíz en el cultivo de *Caladium bicolor* en condiciones de invernadero.

Para el caso de este cultivo, el tamaño de tubérculo influyó directamente en el desarrollo radicular de la planta mediante los tratamientos manipulados en la presente investigación; la absorción de nutrientes derivados del estiércol bovino afectó de manera

positiva y significativa el desarrollo vegetativo del cultivo reflejándose en plantas saludables y con hojas de mayor tamaño. Las evidencias mostradas en este experimento servirán de antecedente para seguir generando conocimiento científico sobre el manejo agronómico de este cultivo, y abre la posibilidad de introducir nuevas especies vegetales a la región mediante un adecuado manejo de los fertilizantes orgánicos, ya que la comercialización de especies ornamentales es una importante alternativa para los productores del ramo.

#### **LITERATURA CITADA**

- Aiken, G.R. 1985. Isolation and concentration techniques for aquatic humic substances. *In: Aiken, G.R., D. M. McKnight, R.L. Wershaw y P. MacCarthy. (Eds.) Humic Substances in Soil, Sediment, and Water. Wiley, New York. pp: 363-385.*
- Betancur J. A., Zuluaga L., Clavijo Z., Cordero P., Salinas N. R. (2007) Santa María pintada de flores. Serie de guías de campo del Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia Bogotá, Colombia.
- Chassapis, K., R. Maria, E.Vrettou and A. Parassiris. 2010. Preparation of bioinorganic fertilizing media by adsorption of humates on lassy aluminosilicates. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces* 81 (2010) 115–122.
- Chefetz, B., Salloum, M.J., Deshmukh, A. P. and Hatcher, P.G. 2002. Structural components of Humic Acids as Determined by Chemical Modifications and Carbon-13 NMR, Pyrolysis-, and Thermochemolysis-Gas Chromatography/Mass Spectrometry. *Soil Science Society of American Journal.* 66:1159-1171.

- Chen, Y., Magel, H. y Riov, J. 1994. Humic substances originating from rapidly decomposing organic matter: properties and effects on plant growth. *In*: Senesi, N. and Miano, M.T. (Eds.). Humic substances in the global environment and implications on human health. 1994. Elsevier science B.V. Pp.427-443.
- Evangelou, V. P., Marsi and M. M. Vandiviere. 1999. Stability of  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ -[illite-humic] complexes and pH influence. *Plant and Soil* 213: 63–74.
- Fortis, H. M., Leos, R. J. A., Orona, C.I., García, H. J. L., Salazar, S. E., Preciado, R. P., Orozco, V. J. A. y Segura, C. M. A. 2009. Uso de estiércol de bovino en la comarca lagunera. *Agricultura orgánica. FAZ. UJED. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. COCYTED. Gómez Palacio, Dgo. México. Pp. 504.*
- Fukushima, M. and K. Tatsumi. 2006. Complex formation of water-soluble iron (III)-porphyrin with humic acids and their effects on the catalytic oxidation of pentachlorophenol, *J. Mol. Catal. A: Chem.* 245, 178–184.
- García, E. 1981. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía, UNAM, México, D.F. Pp. 246.
- González, C. G., Villanueva, D. J., Orona, C. I. y Sánchez, C. I. 2005. Efecto de la lámina de riego en el crecimiento radial de nogal pecanero (*Carya illinoensis* Koch) mediante análisis de imágenes. *Agrofaz*, Vol. 5 Núm. 2. Pp. 863-868.
- González, Ch. M. C. Á. 2005. Recuperación de suelos Contaminados con metales pesados utilizando plantas y microorganismos rizostericos, *revista Terra Latinoamericana.* 23(1): 29-38.
- Hayes, H.B.M. y Clapp, C.E. 2001. Humic substances: considerations of compositions, aspects of structure, and environmental influences. *Soil Science.* 166:723-737.

- Márquez, H. C., Cano, R., P. y Martínez, C.V.M. 2005. Fertilización orgánica para la producción de tomate en invernadero. Memorias del Tercer Simposio Internacional de Producción de Cultivos en invernaderos. Facultad de Agronomía-UANL, Monterrey N. L. México. Pp. 1-11.
- Péret, B., de Rybel. B., Casimiro, I., Benkova, I., Swarup, R., Laplaze, L., Beeckman, T. and Bennett M.J. 2009. Arabidopsis lateral root development: an emerging story. Trends Plant Sci. 14: 399–408.
- Peuravuori, J., P. Zbankova and K. Pihlaja. 2006. Aspects of structural features in lignite and lignite humic acids, Fuel Process Technol. 87, 829–839.
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Recursos naturales, Pesca y Alimentación). 2009. Anuario Estadístico de la Producción Agropecuaria. SAGARPA. Región Lagunera. Lerdo de Tejada, Dgo, México.
- Serrato, S.R., Ortiz A., Dimas J. y S. Berúmen P. 2002. Aplicación de lavado de estiércol para recuperar suelos salinos en la Comarca Lagunera, México. Terra 20:329-336.
- Schnitzer, M. y Khan, S.U. 1978. Soil Organic Matter. Elsevier Scientific Publication Co., Amsterdam, The Netherlands.
- Schnitzer, M., Dinel, H., Schulten, H.R., Paré, T. y Lafond, S. 2000. Humification of duck farm wastes. *In*: Ghabour, E.A., Davies, G. (Eds.) Humic Substances: Versatile Components of Plants, Soil and Water, The Royal Society of Chemistry. Pp 20-34.

SAS Institute, Inc. (Statistical Analysis System Institute Incorporated). 1998. SAS for Windows. Release 6-12, version 4.0.1111. SAS Campus Drive. North Carolina. U.S.A.

Taiz, L. and Zeiger, E. 2010. Plant Physiology. Fifth Edition. Sinauer Associates. Sunderland, MA, E.U.

## 2.3 ARTÍCULO 3

### **INDUCCIÓN DE CRECIMIENTO EN RAÍZ Y TUBÉRCULO MEDIANTE LA APLICACIÓN DE PRODUCTOS ORGÁNICOS Y HORMONALES (Estudio de caso *Caladium bicolor*)**

Induction of Root and Tuber Growth by Applying Organic and Hormonal  
Products  
(Case Study *Caladium bicolor*)

Ixchel Abby Ortiz-Sánchez<sup>1</sup>, Guillermo González-Cervantes<sup>2</sup>, Vicente de Paul Álvarez-Reyna<sup>3</sup>, María Del Carmen Potisek-Talavera<sup>2</sup>, Jorge Armando Chávez-Simental<sup>4</sup>, Luis Manuel Valenzuela-Nuñez<sup>5</sup>

**(Capítulo de Libro Agricultura Orgánica Sexta Parte).**

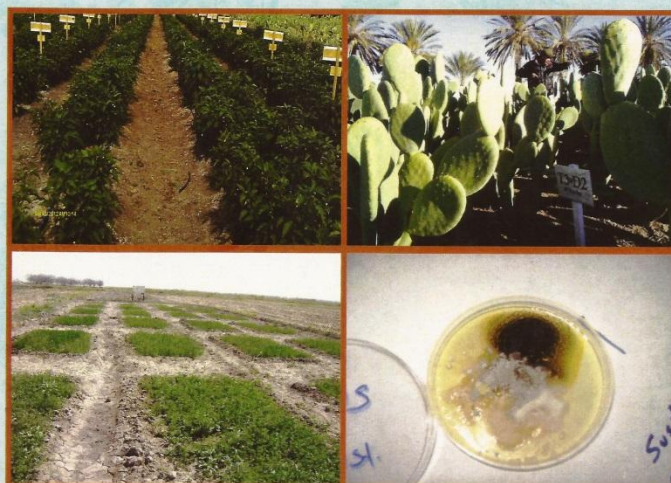




# Agricultura Orgánica

*Sexta Parte*

ISBN: 978-607-00-7418-9



**Compiladores:**

**Manuel Fortis Hernández  
Ignacio Orona Castillo  
Miguel Ángel Gallegos Robles  
Juan Pedro Flores Margez  
Enrique Salazar Sosa  
Pablo Preciado Rangel**

**2013**

| Contenido   | Página |
|---|--------|
| Capítulo I  | 1      |
| IMPORTANCIA DEL AGUA Y POTENCIAL DEL VERMICOMPOST EN LA<br>RETENCIÓN DE HUMEDAD DEL SUSTRATO PARA LA ACTIVIDAD AGRÍCOLA<br>Water importance and vermicompost potential in the substrate water-holding capacity for<br>agricultural activity<br><i>Alejandro Moreno-Reséndez, Norma Rodríguez-Dimas, José Luis Reyes-Carrillo, César<br/>Márquez-Quiroz, María del Rosario Moncayo-Luján y Lilia Salas-Pérez</i>   |        |
| Capítulo II   | 20     |
| PRODUCCIÓN ORGÁNICA DE TOMATE ( <i>Lycopersicon esculentum</i> L.) CON<br>SUSTRATOS DE ESTIÉRCOL BOVINO TRATADO, BAJO CONDICIONES<br>PROTEGIDAS<br>Organic production of tomato ( <i>Lycopersicon esculentum</i> L.) with manure bovine substrates<br>treated, under protected conditions<br><i>Manuel Fortis-Hernández, Pablo Preciado-Rangel, Arely Pérez-Velázquez, Ma. de Lourdes<br/>González-Betancour, Miguel A. Segura-Castruita, Jorge A. Orozco-Vidal, Enrique Salazar-<br/>Sosa e Ignacio Orona-Castillo</i> |        |
| Capítulo III  | 44     |
| RENDIMIENTO DE TOMATE Y PROPIEDADES BIOQUÍMICAS APLICANDO<br>ESTIÉRCOL BOVINO SOLARIZADO<br>Tomato yield and biochemistry properties applying solarized bovine manure<br><i>Miguel Ángel Gallegos-Robles, Uriel González-Salas, Cirilo Vázquez-Vázquez, Enrique<br/>Salazar-Sosa, Juan de Dios Quevedo-Guillen, Ignacio Orona-Castillo, José Luis García-<br/>Hernández y Héctor Idilio Trejo-Escareño</i>  |        |
| Capítulo IV   | 61     |
| INDUCCIÓN DE CRECIMIENTO EN RAÍZ Y TUBÉRCULO MEDIANTE LA<br>APLICACIÓN DE PRODUCTOS ORGÁNICOS Y HORMONALES (ESTUDIO DE CASO<br><i>Caladium bicolor</i> )<br>Induction of root and tuber growth by applying organic and hormonal products (case study<br><i>Caladium bicolor</i> )<br><i>Ixchel Abby Ortiz-Sánchez, Guillermo González-Cervantes, Vicente de Paul Álvarez-Reyna,<br/>María del Carmen Potisek-Talavera, Jorge Armando Chávez-Simental y Luis Manuel<br/>Valenzuela-Núñez</i>                             |        |

# Capítulo IV

## INDUCCIÓN DE CRECIMIENTO EN RAÍZ Y TUBÉRCULO MEDIANTE LA APLICACIÓN DE PRODUCTOS ORGÁNICOS Y HORMONALES (ESTUDIO DE CASO *Caladium bicolor*)

Induction of Root and Tuber Growth by Applying Organic and Hormonal Products  
(Case Study *Caladium bicolor*)

**Ixchel Abby Ortiz-Sánchez<sup>1</sup>, Guillermo González-Cervantes<sup>2</sup>, Vicente de Paul Álvarez-Reyna<sup>3</sup>, María del Carmen Potisek-Talavera<sup>2</sup>, Jorge Armando Chávez-Simental<sup>4</sup> y Luis Manuel Valenzuela-Núñez<sup>5</sup>**

<sup>1</sup>Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro de la -Unidad Laguna. Estudiante de Posgrado. Periférico Raúl López Sánchez y carretera Santa Fe S/N C.P. 27059, Torreón, Coahuila E-mail: [ixchel\\_abby@hotmail.com](mailto:ixchel_abby@hotmail.com). <sup>2</sup>Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua-Suelo-Planta-Atmosfera. Km. 6.5 margen derecha Canal Sacramento, Gómez Palacio C.P. 35140, Gómez Palacio, Durango. <sup>3</sup>Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro-Unidad Laguna, Periférico y carretera Santa Fe S/N C.P. 27059, Torreón, Coahuila. <sup>4</sup>Instituto de Silvicultura e Industria de la Madera de la Universidad Juárez del Estado de Durango; Blvd. Guadiana #501 Ciudad Universitaria C.P. 34120, Durango, Dgo. <sup>5</sup>Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Juárez del Estado de Durango, Av. Universidad s/n. Fracc. Filadelfia C.P. 35100, Gómez Palacio, Dgo.

### RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue cuantificar el crecimiento de tubérculo y raíz en el cultivo ornamental “*Caladium bicolor*” mediante la aplicación de producto orgánico y hormonal. El estudio estuvo conformado por dos experimentos; el primero consistió en la aplicación de 4 y 8 ml L<sup>-1</sup> de producto orgánico y en el segundo se aplicaron 30 ml L<sup>-1</sup> del producto hormonal (Auxina, Citocinina y Auxina+Citocinina). Estos tratamientos se compararon con un testigo (sin fertilizar). Los datos obtenidos fueron analizados con la técnica de imagen y bajo un diseño de bloques al azar con arreglo factorial 3X5 donde las variables evaluadas fueron: área de tubérculo y de raíz. El tratamiento donde se aplicaron 8 ml L<sup>-1</sup> de producto orgánico presentó mayor crecimiento, ya que el tubérculo tuvo un aumento de tamaño del 126.61% con respecto a la medición inicial y un área de raíz de 37,485 mm<sup>2</sup> en un periodo de cuatro meses. El tratamiento que mostró mejor resultado en productos hormonales, fue donde se aplicaron las citocininas al presentar un aumento en tamaño de tubérculo del 44.78% y una raíz de 34,393 mm<sup>2</sup>. Bajo las condiciones en que se desarrolló la presente

investigación, se concluye que con la aplicación de productos orgánicos se obtiene un mayor crecimiento de tubérculo y mayor área de raíz en el cultivo de "Caladium".

**Palabras clave:** Caladium bicolor, fertilización, análisis de imagen, cultivo ornamental.

### SUMMARY

The aim of this study was to quantify the tuber and root growth in floriculture "Caladium bicolor" by applying hormones, organic products. The study consisted of two experiments: the first was the application of 4 and 8 ml L<sup>-1</sup> of organic product and in the second were applied 30 ml L<sup>-1</sup> of hormonal product (Auxin, Cytokinin and Auxin + Citicininina). These treatments were compared to a control (no fertilizer). The data were analyzed with the imaging technique under a randomized complete block design with a 3x5 factorial arrangement where variables were evaluated: area and root tuber. The treatment was applied 8 ml l-1 of the organic product showed increased growth, as the tuber had an increase of 126.61% size relative to the initial measurement and an area of root 37,485 mm<sup>2</sup> following a four month period . The treatment showed the best results in hormonal products, was where cytokinins were applied when an increase in tuber size of 44.78% and a root of 34,393 mm<sup>2</sup>. Under the conditions that development in the present investigation, it is concluded that the application of organic products results in increased tuber growth and increased root area in the cultivation of "Caladium bicolor".

**Index words:** Caladium bicolor, fertilization, image analysis, floriculture.

### INTRODUCCIÓN

La raíz es el órgano por medio del cual la planta se ancla al suelo, absorbe y transporta el agua y minerales esenciales para su crecimiento. La primera raíz originada de la planta se llama radícula, que es formada después de la germinación de la semilla y forma la raíz primaria. Las raíces originadas a partir de la raíz primaria se denominan raíces laterales. En condiciones normales, el crecimiento de la raíz depende de la disponibilidad del agua en el suelo, hormonas de crecimiento y nutrimentos (Taiz et al., 2010).

Los cambios en la morfología de la raíz como grosor y longitud, pueden afectar la capacidad de las plantas de absorber nutrimentos y agua del suelo. Las alteraciones en los procesos como división celular de los meristemos, formación de raíces laterales y formación de pelos radicales pueden tener efectos importantes en la arquitectura del sistema radicular y en su capacidad de crecer en suelos con una disponibilidad limitada de nutrimentos (Péret et al., 2009).

La formación de ciertas plantas es a partir de la multiplicación de tubérculos, el cual es la hinchazón orgánica que aparece en la raíz de estas plantas, que a diferencia de la raíz, tiene la función de almacenar sustancias alimenticias para la nutrición de la misma y su posterior reproducción. El almacenamiento de nutrimentos se produce en la estación de crecimiento y permanece en estado latente durante el invierno para regenerar nuevos brotes en la primavera siguiente. Después de que inicia un nuevo ciclo estacional, los brotes utilizan el alimento almacenado para su desarrollo.

Los tubérculos más conocidos son los comestibles como la papa, zanahoria, rábano entre otros; sin embargo existen otros en plantas ornamentales para jardinería, como el ciclamen o algunas begonias, alcatraces, *Caladium*, etc. En este tipo de plantas, la formación de primordios radiculares se da a partir de los tubérculos, los cuales generan pelos radicales que se encargan de incrementar la superficie total de raíces primarias y laterales, por lo cual es importante inducir su propagación mediante el uso de productos químicos y orgánicos (Péret *et al.*, 2009).

En la agricultura orgánica, ecológica o biológica se utiliza insumos naturales, mediante prácticas especiales como composta, abonos verdes, asociación y rotación de cultivos, etcétera. En el caso de la fertilización, las técnicas más apropiadas son: abonos orgánicos, abonos verdes, fijación natural de nutrientes por medio de plantas, abonos foliares de origen natural, compuestos biodinámicos, incorporación de materia orgánica (Márquez *et al.*, 2005).

El estiércol es la materia prima básica para realizar composta, ya que cumple con una función importante en el reciclaje de nutrientes orgánicos; se les puede considerar como un abono universal, aunque las características son muy variables dependiendo del tipo de animal que los produce, de su dieta y método de manejo utilizado (estabulado o pastoreo); un buen manejo aeróbico del estiércol resulta en un producto beneficioso para la fertilidad del suelo y seguro desde una perspectiva de seguridad alimentaria (Serrato *et al.*, 2002). La producción del estiércol de ganado vacuno ocupa el primer lugar en la Comarca Lagunera ya que es una de las principales cuencas lecheras del país, con más de 223,547 vientres que generan 1,177,370 kg de estiércol por día, el cual debe aprovecharse para evitar focos de infección como contaminación ambiental y cuerpos de agua, seguido del estiércol de cabra, caballo y conejo (Fortis *et al.*, 2009; SAGARPA, 2009).

### **Hormonas Auxinas y Citocininas en Plantas**

Las auxinas influyen en la división, crecimiento y diferenciación celular; están involucradas en procesos del desarrollo vegetal e interactúan con fitohormonas. Diversos bioensayos han sido descritos para analizar respuestas a auxinas, los cuales han sido útiles en la identificación de compuestos con actividad típica de auxinas y de plantas mutantes con defectos en la síntesis, metabolismo o respuestas a auxinas. Las auxinas

estimulan el crecimiento de tallos y coleoptilos, inhiben el crecimiento de la raíz primaria, pero estimulan la formación de raíces secundarias (Jenik *et al.*, 2005).

Las citocininas en plantas están relacionadas principalmente con la división y diferenciación celular junto a otros reguladores de crecimiento (auxinas), se les utiliza en la propagación clonal de material ornamental o forestal, de calidad superior y en la regeneración masiva de plantas. Debido a que las citocininas retardan la senescencia, proceso que implica clorosis por degradación de la clorofila, y que permiten la manutención de la síntesis de proteínas, junto a carbohidratos y otros compuestos orgánicos, es posible usar dicha hormona para dilatar y mantener la vida de flores con hojas (Jordán *et al.*, 2006).

En las plantas después de que inician un nuevo ciclo estacional, los brotes utilizan el alimento almacenado en un tubérculo viejo. A medida que se desarrolla el nuevo tallo, se inician en la base raíces adventicias y las yemas laterales crecen horizontalmente en el suelo para producir tallos largos y ahilados (estolones). El alargamiento continuo de los estolones se efectúa con fotoperiodos largos y está asociado con la presencia de auxina y giberelina (Hartmann *et al.*, 1999).

#### **Productos Orgánicos (sustancias húmicas)**

La utilización de productos orgánicos que permiten a los agricultores obtener mayores rendimientos sin alterar el medio ambiente es una de las tendencias mundiales de nuestros tiempos.

La materia orgánica (MO), es la suma total de las sustancias orgánicas que contienen carbono, consiste en una mezcla de residuos de plantas y animales en varios estados de descomposición, sustancias sintetizadas microbiológica y/o químicamente de los productos de descomposición y los cuerpos de microorganismos vivos y muertos así como sus remanentes en descomposición (Schnitzer *et al.*, 1978). De acuerdo a Chefetz *et al.* (2002), la principal porción de la materia orgánica consiste de sustancias húmicas (SH).

El compostaje es un proceso de descomposición y humificación (Rajae *et al.*, 2008) que determina la disponibilidad de nutrimentos y el efecto de la ecología microbiana (Galli *et al.*, 1994). Los compost tienen una cantidad sustancial de materia orgánica, con una cantidad significativa de SH (Chang *et al.*, 2006). Los compost originados de residuos de plantas o estiércol son conocidos por su alto nivel de SH. Las concentraciones óptimas de SH para todos los parámetros de crecimiento (peso de raíz y de tallo, concentración de clorofila, área de la hoja, altura de la planta) se encontró en el rango de 35 a 55 mg L<sup>-1</sup> (Chen *et al.*, 1994).

Las SH constituyen una categoría de compuestos orgánicos heterogéneos que pueden ser caracterizados por su color amarillo a negro, de alto peso molecular y refractariedad (Aiken *et al.*, 1985). Las definiciones de

las fracciones de las SH están basadas en las características de solubilidad en sistemas acuosos (Hayes *et al.*, 2001); representan la suma total de ácidos húmicos, ácidos fúlvicos y huminas. Esta clasificación es necesaria para aislar y caracterizar a estas fracciones (Schnitzer *et al.*, 2000).

Ácidos húmicos (AH): Extraíbles en medio alcalino y que precipitan al acidificar. La base de su estructura está formada por un gran grupo de estructuras aromáticas y cadenas alifáticas. Poseen diversos grupos funcionales tales como hidroxilos, carboxilos, metoxilos, fenólicos, etc. Son de color pardo oscuro y peso molecular muy alto.

Ácidos fúlvicos (AF): Extraíble en medio alcalino y cuyos componentes permanecen en disolución después de acidificar el extracto. Poseen una estructura relativamente similar a la de los AH pero con un menor peso molecular. También están menos polimerizados y contienen una mayor proporción de cadenas alifáticas, a la vez que son más ricos en grupos fenólicos, hidroxílicos, carboxílicos y cetónicos.

Huminas (Hh): No son extraíbles con disoluciones alcalinas. Debido tanto a su insolubilidad como a su naturaleza macromolecular. Dependiendo de la naturaleza del material húmico, se considera en general que las huminas poseen una estructura muy similar a la de los AH, tanto por su composición elemental como por su contenido en grupos funcionales, diferenciándose de éstos en una aromaticidad, debida al mayor contenido de polisacáridos alifáticos presentes en la estructura de las huminas (Hatcher *et al.*, 1985).

Hoy en día, los ácidos fúlvicos están despertando el interés de los productores del campo, ya que entre sus múltiples beneficios posibilitan un mejor aprovechamiento de fertilizantes foliares y radiculares, además de estimular el crecimiento general de la planta, lo cual se traduce en mayor rendimiento y mejor calidad de cosecha. Con la aplicación de los ácidos fúlvicos se han obtenido incrementos de producción de hasta de 50 por ciento en diferentes cultivos y zonas del país y Centroamérica. Se les atribuye el mejoramiento de la calidad de cultivos, como en papa, donde mejora la distribución de los almidones y el tamaño de la misma es más uniforme; en trigo aumenta los contenidos de proteínas; en el tomate, chile y otras hortalizas aumenta el porcentaje de fruto de exportación (Anónimo, 2001).

Por lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue inducir el crecimiento de raíz y tubérculo mediante la aplicación de productos orgánicos y hormonales en *Caladium bicolor* y cuantificar su crecimiento.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **Localización del Sitio Experimental**

Los experimentos se realizaron para productos orgánicos entre los meses agosto-diciembre y productos hormonales de septiembre a diciembre 2012 respectivamente, en las instalaciones del invernadero ubicado en el fraccionamiento “Las Trojes”, carretera antigua Torreón - San Pedro Km. 5 en Torreón, Coahuila.

Según la clasificación de Köppen modificado por García (1981), el clima de la región es seco desértico o estepario cálido con lluvias en el verano e invierno frescos. La precipitación pluvial promedio es de 258 mm y la temperatura media anual es de 22.1 °C, con rango de 38.5 °C como media máxima y 16.1 °C como media mínima. La evaporación anual media aproximadamente es de 2,396 mm. La presencia de las heladas ocurre de noviembre a marzo y en ocasiones en octubre y abril, mientras que la presencia de granizada se da entre mayo y junio.

### **Productos Orgánicos (sustancias húmicas)**

El producto orgánico se obtuvo del estiércol recolectado de varios establos de la Región Lagunera; enseguida se sometió a composteo y posteriormente se realizó un proceso de licuefacción con molinos hasta obtener las sustancias húmicas.

### **Hormonas (Auxinas y Citocininas)**

En la aplicación de hormonas se utilizaron auxina y citocinina, donde su ingrediente activo es Acido Indole-3butyrico y 6-Benzylaminopurine respectivamente.

### **Área Experimental y Distribución de Tratamientos**

El área experimental estuvo conformada por 25 macetas por tratamiento (repeticiones), donde la unidad experimental fue la maceta. Se desarrollaron dos experimentos; el primero consistió en la aplicación en diferentes dosis de producto orgánico el cual estuvo compuesto por ácidos fúlvicos y húmicos (Cuadro 1). El segundo por productos hormonales (Cuadro 2), las dosis fueron por litro por maceta, se describen a continuación:



**Cuadro 1. Tratamientos de productos orgánicos.**

| Tratamiento  | Dosis de Producto orgánico |
|--------------|----------------------------|
| T1 (Testigo) | 0                          |
| T2           | 4ml.                       |
| T3           | 8ml.                       |

**Cuadro 2. Tratamientos de productos hormonales.**

| Tratamiento  | Producto hormonal   |
|--------------|---|
| T1 (Testigo) | 0   |
| T2           | 30 ml l <sup>-1</sup> Auxinas                                     |
| T3           | 30 ml l <sup>-1</sup> Citocininas                                 |
| T4           | 30 ml l <sup>-1</sup> Auxinas + 30 ml l <sup>-1</sup> Citocininas |

#### **Siembra y Aplicación de Tratamientos**

La siembra de los tubérculos de "*Caladium bicolor*" se llevó a cabo en el mes de agosto para productos orgánicos y septiembre para productos hormonales, donde el tubérculo se sembró en sustrato Peat moss, en la maceta de plástico color negro con un volumen de 11, 314.47 cm<sup>3</sup> a una profundidad de 10 cm. colocado al centro de la maceta.

La aplicación de los tratamientos de los productos orgánicos y hormonales se realizó a los 8 días después de la siembra respectivamente; en los productos orgánicos se efectuó una segunda aplicación en la etapa de floración. Los tratamientos se aplicaron de manera manual, disolviendo la sustancia estudiada en un litro de agua para cada maceta. El riego de las plantas se efectuó diariamente para mantenerlo con suficiente humedad, ya que es un cultivo que es nativo del Amazonas y se está introduciendo a la Comarca Lagunera.

Las variables independientes fueron los tratamientos (dosis de producto orgánico y hormonal) y las variables dependientes fueron área de tubérculo (antes de la siembra y dormancia) y raíz, lo cual se realizó mediante la técnica de análisis de imagen.

#### **Técnica de Análisis de Imagen**

El procedimiento en la medición del crecimiento de raíz consistió en tomar tres muestras al azar por tratamiento cada 15 días durante el ciclo vegetativo, para después extraer la planta de la maceta y limpiar la

raíz retirando todo el sustrato para dejar visibles los objetos a medir. En el caso de los tubérculos solo se realizó antes de la siembra y en dormancia. Posteriormente, se realizó la digitalización de la muestra con una cámara digital marca Olympus con sensor óptico CCD de 4.1 mega píxeles, donde se colocó papel milimétrico para usarlo como guía de medición y calibración de software. Posteriormente se colocaron los tubérculos y las raíces en la base, para capturar la imagen bajo una misma distancia para ser analizados a una sola escala (Figura 1).

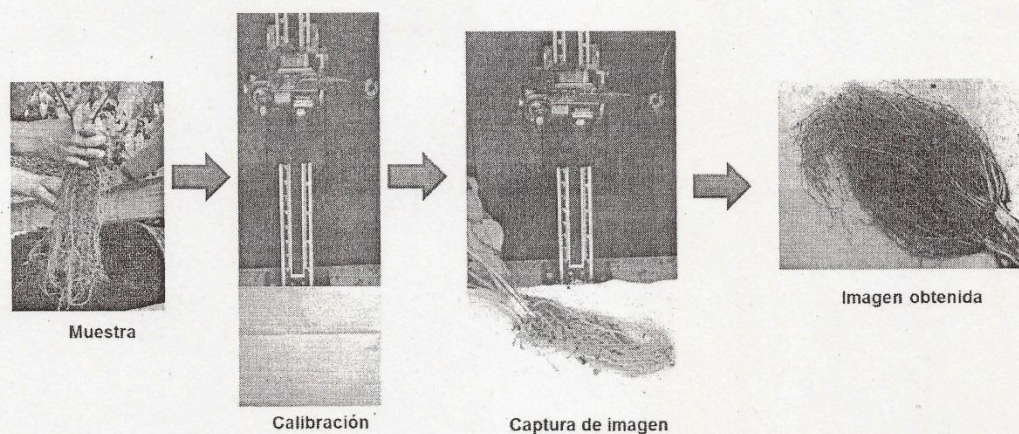
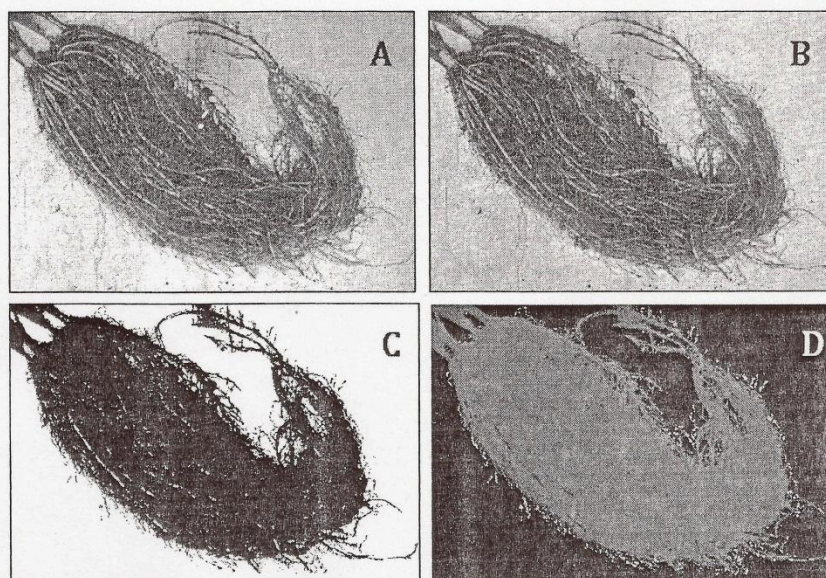


Figura 1. Procedimiento de toma de imagen.

El tratamiento de imagen (Figura 2) se realizó con el software Image Pro Plus® versión 4.5 (Media Cibernética Maryland, USA) bajo micro computadora personal en base a las imágenes tomadas (González et al., 2005), donde se determinó el área de tubérculo y raíz de *Caladium bicolor* en unidades de mm<sup>2</sup>.

Los datos obtenidos se analizaron bajo un diseño experimental de Bloques al azar con arreglo factorial 3 X 5 donde los factores son los tratamientos y los niveles las fechas en que fueron tomadas las imágenes. El software que se utilizó fue el programa computacional SAS Ver. 9.11 (1998).



A) Imagen Real; B) Imagen en escala de grises; C) Imagen Binaria; D) Clasificación de objeto (Área)

**Figura 2. Análisis de crecimiento de raíz mediante análisis de imagen.**

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Crecimiento de Tubérculo y Raíz con Tratamiento de Productos Orgánicos

El ciclo vegetativo de *Caladium bicolor* corresponde a los meses de marzo a diciembre; cabe destacar que este tratamiento abarcó del mes de agosto a diciembre, por lo cual solo se tomaron datos de cuatro meses de desarrollo fisiológico.

**Crecimiento de tubérculo.** La aplicación de productos orgánicos en el crecimiento de tubérculo mostró un efecto positivo. El tratamiento que presentó mayor crecimiento, fue donde se aplicaron 8 ml. de producto (Cuadro 3), ya que su área inicial fue de 1,810.94 mm<sup>2</sup> y para la etapa de dormancia al final del ciclo presentó un área de 4,103.83 mm<sup>2</sup>, lo que representó un aumento de tamaño de 126.61%. El segundo tratamiento que mostró un aumento significativo en el tamaño fue donde se aplicaron 4 ml, el cual obtuvo un aumento del 56.86% en relación con el tamaño inicial; el tratamiento testigo mostró un crecimiento de tubérculo no significativo, pues sólo aumentó su tamaño un 1.37% en relación al tamaño inicial.

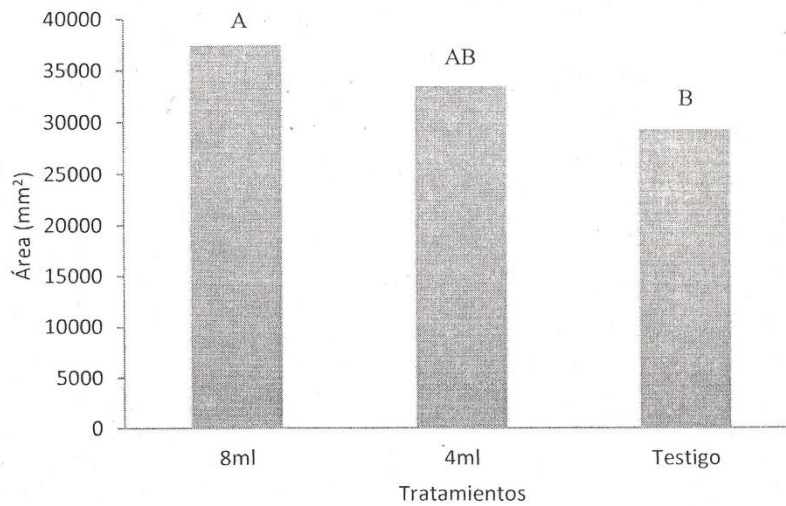
**Cuadro 3. Crecimiento de tubérculo con tratamientos orgánicos.**

| Tratamiento        | Área inicial    | Área final      | Crecimiento |
|--------------------|-----------------|-----------------|-------------|
| ml L <sup>-1</sup> | mm <sup>2</sup> | mm <sup>2</sup> | %           |
| Testigo            | 2,012.19        | 2,039.8         | 1.37        |
| 4                  | 2,219.96        | 3,482.29        | 56.86       |
| 8                  | 1,810.94        | 4,103.83        | 126.61      |

**Crecimiento de raíz.** El análisis de varianza mostró que la variable de crecimiento de raíz resultó altamente significativa ( $Pr > F = 0.0001$ ); esto indicó que al menos uno de los tres tratamientos experimentales produjo un mayor crecimiento de raíz. El coeficiente de variación fue del 30.42% y un coeficiente de determinación ( $r^2$ ) de 81.46%.

Al aplicar la prueba de comparación de medias (DMS), el tratamiento de 8 ml. de producto orgánico generó mayor crecimiento, ya que presentó un crecimiento medio de área de raíz de 37,485 mm<sup>2</sup>; el tratamiento de 4 ml generó un crecimiento de raíz de 33,456 mm<sup>2</sup>, siendo estadísticamente igual al de 8 ml. El testigo mostró el menor crecimiento con 29,260 mm<sup>2</sup> de área radicular presentando igualdad estadística con el tratamiento de 4 ml, pero no al de 8ml. (Figura 3).

El uso de estiércoles en la agricultura contribuye incremento de rendimiento en los cultivos, ya que aportan elementos esenciales que requieren para su desarrollo, tienen un efecto residual mayor que el de los fertilizantes químicos y liberan nutrientes en forma gradual que favorece su disponibilidad, tal es el caso que el cultivo de *Caladium bicolor* que aprovechó el contenido de nutrientes del producto orgánico el cual tuvo una relación positiva entre crecimiento de tubérculo y raíz y la dosis la evaluada en el presente trabajo.



Medias con diferente letra son estadísticamente diferentes.  $\alpha=0.05$

**Figura 3. Comparación de medias de crecimiento de raíz.**

#### **Crecimiento de Tubérculo y Raíz con Tratamiento de Productos Hormonales**

Este experimento se llevó a cabo del mes de septiembre al mes de diciembre, el cual sólo tomó tres meses de desarrollo fisiológico.

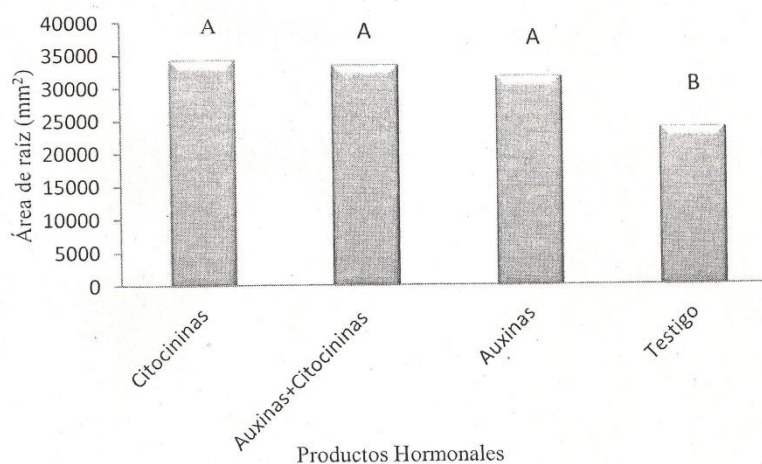
**Crecimiento de tubérculo.** La aplicación de productos hormonales al cultivo de *Caladium bicolor*, al igual que los productos orgánicos, presentó un efecto positivo en su desarrollo. El Cuadro 4 muestra el crecimiento promedio del tubérculo en su etapa inicial y final; el tratamiento que mostró mayor crecimiento fue donde se aplicaron 30 ml L<sup>-1</sup> de citocininas, donde su área inicial fue de 2,562.5 mm<sup>2</sup> y su área final 3,710.03 mm<sup>2</sup>, representando un aumento de 44.78 % en su tamaño. El segundo tratamiento que mostró un incremento significativo en esta variable, fue donde se aplicaron 30 ml L<sup>-1</sup> de auxinas, el cual obtuvo el 38.95 % de aumento del tamaño, seguido por auxinas + citocininas con 36.91 % y al final quedó el testigo que solo aumentó el 11.06%.

**Crecimiento de raíz.** El análisis de varianza mostró que la variable de crecimiento de raíz resultó altamente significativa ( $Pr > F = 0.0001$ ), indicando que al menos uno de los cuatro tratamientos experimentales produjo un mayor crecimiento. El coeficiente de variación fue de 11.87% y un coeficiente de determinación ( $r^2$ ) de 92.87%.

**Cuadro 4. Crecimiento de tubérculo con tratamientos hormonales.**

| Tratamiento          | Área inicial<br>mm <sup>2</sup> | Área final<br>mm <sup>2</sup> | %     |
|----------------------|---------------------------------|-------------------------------|-------|
| Testigo              | 1,869.73                        | 2076.53                       | 11.06 |
| Auxina               | 1,474.68                        | 2049.12                       | 38.95 |
| Citocininas          | 2,562.5                         | 3710.03                       | 44.78 |
| Auxina + Citocininas | 2,069.64                        | 2833.55                       | 36.91 |

Al aplicar la prueba de comparación de medias (DMS), el tratamiento de citocininas (30 ml L<sup>-1</sup>) de productos hormonales con un crecimiento medio de área de raíz de 34,393 mm<sup>2</sup> fue el que generó mayor crecimiento; el tratamiento de auxinas+citocininas generó un crecimiento de raíz de 33,606 mm<sup>2</sup>; auxinas una media de 31,875 mm<sup>2</sup> y el testigo obtuvo un crecimiento de 24,002 mm<sup>2</sup>. Los tratamientos son estadísticamente iguales a excepción del testigo el cual presentó menor crecimiento (Figura 4).



Medias con diferente letra son estadísticamente diferentes.  $\alpha=0.05$

**Figura 4. Comparación de medias de productos hormonales.**

La presencia de hormonas en las plantas y sus células en diferentes niveles, permite que éstas desarrollen caminos morfogénicos alternativos muy distintos, los cuales pueden darse todos de acuerdo al grado de ontogenia. Lo más general es que las células en crecimiento por acción de varias hormonas expresen división y elongación celular.

Tanto en crecimiento de raíz y tubérculo donde se aplicó 30 ml L<sup>-1</sup> de citocinina fue la que mostró mayor crecimiento por lo que comprueba que una vez absorbida y aprovechada por la plantas la división celular es mayor en comparación con otras hormonas. Actualmente, la utilización de citocininas para regular y/o manipular procesos fisiológicos específicos en los cultivos, está siendo cada vez más generalizada, ya que la agricultura dispone de productos comerciales lo suficientemente específicos y eficientes para ejercerlos.

En la confinación de auxinas + citocininas, existe una relación ya que las medias son muy semejantes y estadísticamente son iguales a las de citocinina que fue la que mejor se comporto. Gran parte de las respuestas de totipotencia celular, de morfogénesis *in vitro* y de regeneración de plantas, ocurre en presencia de niveles apropiados de citocininas y auxinas (Coenen *et al.*, 1997).

Realizando una comparación general entre el producto orgánicos (estiércol bovino) y productos hormonales, en el Cuadro 5 se observa que la fertilización de 8ml l<sup>-1</sup> fue el que produjo mayor crecimiento en tubérculo y raíz, aunque los tratamiento de productos hormonales tienen un mes atrás de productos orgánicos, los tratamientos de citocininas y auxina+ citocinina se asemeja a de 4 ml l<sup>-1</sup> de producto orgánico.

**Cuadro 5. Comparación de Productos Orgánicos y Hormonales.**

| Tratamiento          | Crecimiento de tubérculo | Crecimiento de raíz |
|----------------------|--------------------------|---------------------|
|                      | %                        | mm <sup>2</sup>     |
| Productos orgánicos  |                          |                     |
| Testigo              | 1.37                     | 29,260              |
| 4 ml.                | 56.86                    | 33,456              |
| 8 ml.                | 126.61                   | 37,485              |
| Productos hormonales |                          |                     |
| Testigo              | 11.06                    | 24,002              |
| Auxina               | 38.95                    | 31,875              |
| Citocininas          | 44.78                    | 34,393              |
| Auxina + Citocininas | 36.91                    | 33,606              |

### CONCLUSIONES

Con la realización de éste trabajo, fue posible ampliar el conocimiento del comportamiento de la estimulación de crecimiento de tubérculo y raíz en el cultivo de *Caladium bicolor* en condiciones de invernadero. Los resultados obtenidos mostraron valores significativos en el crecimiento de tubérculo y raíz con la aplicación de productos orgánicos y hormonales. El presente experimento servirá de antecedente para

seguir generando conocimiento científico sobre el manejo de este cultivo, ya que es una importante alternativa en la comercialización de especies ornamentales en la región.

#### Agradecimientos

Al Sr. Ing. Óscar Villarreal Zamora por compartir sus conocimientos y sabiduría sobre el manejo del cultivo del "*Caladium bicolor*" y por el interés mostrado para desarrollar la presente investigación, así como por las facilidades otorgadas expresadas mediante su incondicional disponibilidad de tiempo, contribución económica y proporcionar los materiales necesarios para la realización del proyecto.

#### LITERATURA CITADA

- Aiken, G. R. 1985. Isolation and concentration techniques for aquatic humic substances. En Aiken, G.R., D. M. McKnight, R.L. Wershaw y P. MacCarthy. Eds. Humic Substances in Soil, Sediment, and Water. Wiley, New York. Pp. 363-385.
- Anónimo. 2001. Ácido fúlvico, más crecimiento, calidad y rendimiento. Revista Agro 2000. Disponible en: <http://www.2000agro.com.mx/agroindustria/acido-fulvico-mas-crecimiento-calidad-y-rendimiento/> consultado : 10 de diciembre de 2012.
- Chang Chien, S. W., Wang, M.C. y Huang, C. C. 2006. Reactions of compost-derived humic substances with lead, copper, cadmium and zinc. Chemosphere. 64:1253-1361.
- Chefetz, B., Salloum, M. J., Deshmukh, A. P. y Hatcher, P. G. 2002. Structural components of Humic Acids as Determined by Chemical Modifications and Carbon-13 NMR, Pyrolysis-, and Thermochemolysis-Gas Chromatography/Mass Spectrometry. Soil Science Society of American Journal. 66:1159-1171.
- Chen, Y., Magel, H. y Riov, J. 1994. Humic substances originating from rapidly decomposing organic matter: properties and effects on plant growth. En Senesi, N. and Miano, M.T. (Eds.). Humic substances in the global environment and implications on human health. 1994. Elsevier science B.V. Pp.427-443.
- Coenen, C. y Lomax, T. L. 1997. Auxin-cytokinin interactions in higher plants: old problems and new tools. Trends Plant Science 2: 351-356.
- Fortis, H. M., Leos, R. J. A., Orona, C. I., García, H. J. L., Salazar, S. E., Preciado, R. P., Orozco, V. J. A. y Segura, C. M. A. 2009. Uso de estiércol de bovino en la comarca lagunera. Agricultura orgánica. FAZ. UJED. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. COCYTED. Gómez Palacio, Dgo. México. Pp. 504.
- Galli, E., Cegarra, J. R., Tomati, U. y Roig, A. 1994. Effect of humified material on plant metabolism. En Senesi, N. and Miano, M. T. (Eds.). Humic substances in the global environment and implications on human health. 1994. Elsevier science B. V. Pp. 595-599.
- García, E. 1981. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía, UNAM, México, D.F. Pp. 246.
- González C., G., Villanueva, D. J., Orona, C. I. y Sánchez, C. I. 2005. Efecto de la lámina de riego en el crecimiento radial de nogal pecanero (*Carya illinoensis* Koch) mediante análisis de imágenes. Agrofaz, Vol. 5 Núm. 2. Pp. 863-868.
- Hartmann, T. H. y Kester, E. D. 1999. Propagación de plantas. Principios y prácticas. Séptima reimpresión. México D.F. Pp. 532-534.



- Hatcher, P. G., Breger, I. A., Maciel, G. E. y Szeverenyi, N. M. 1985. Geochemistry of humin. Humic Substances in Soil, Sediment and Water: Geochemistry, Isolation and Characterization. Ed: G. R. Aiken, D.M. McKnight, R. L. Wershaw, P. MacCarthy.
- Hayes, H. B. M. y Clapp, C. E. 2001. Humic substances: considerations of compositions, aspects of structure, and environmental influences. *Soil Science*. 166:723-737.
- Jenik, P. D. y Barton, M. K. 2005. Surge and destroy: the role of auxin in plant embryogenesis. *Development* 132: Pp. 3577-3585.
- Jordán, M. y Casaretto, J. 2006. Fisiología Vegetal Hormonas y Reguladores del Crecimiento: Auxinas, Giberelinas y Citocininas. Ediciones Universidad de La Serena. La Serena, Chile.
- Márquez H., C., Cano, R., P. y Martínez, C.V.M. 2005. Fertilización orgánica para la producción de tomate en invernadero. Memorias del Tercer Simposio Internacional de Producción de Cultivos en invernaderos. Facultad de Agronomía-UANL, Monterrey N. L. México. Pp. 1-11.
- Péret, B., de Rybel, B., Casimiro, I., Benkova, I., Swarup, R., Laplaze, L., Beeckman, T. y Bennett M.J. (2009). Arabidopsis lateral root development: an emerging story. *Trends Plant Sci*. 14: 399-408
- Rajae, A., Amir, S., Sovabi, S., Winterton P., Nobira, V., Revel, V., Revel, J.C. y Hafidi, M. 2008. The fulvic acids fractions as it changes in the mature phase of vegetable oil-mill sludge and domestic waste composting. *Bioresource Technology*. XXX: 1-7.
- SAGARPA. 2009. Anuario Estadístico de la Producción Agropecuaria. SAGARPA. Región Lagunera. Lerdo de Tejada, Dgo, México.
- Serrato S., R., Ortiz A., Dimas J. y S. Berúmen P. 2002. Aplicación de lavado de estiércol para recuperar suelos salinos en la Comarca Lagunera, México. *Terra* 20:329-336.
- Schnitzer, M. y Khan, S. U. 1978. *Soil Organic Matter*. Elsevier Scientific Publication Co., Amsterdam, The Netherlands.
- Schnitzer, M., Diné, H., Schulten, H. R., Paré, T. y Lafond, S. 2000. Humification of duck farm wastes. En: Ghabour, E.A., Davies, G. (Eds.) *Humic Substances: Versatile Components of Plants, Soil and Water*, The Royal Society of Chemistry. Pp 20-34.
- Statistical Analysis System (SAS) Institute. 1998. SAS for Windows. Release 6-12, version 4.0.1111. SAS Compus Drive. North. Carolina. U.S.A.
- Taiz, L. y Zeiger, E. 2010. *Plant Physiology*. Fifth Edition. Sinauer Associates. Sunderland, MA, E.U.

### CAPÍTULO 3. CONCLUSIÓN

En función de las condiciones bajo las cuales fue conducido el presente estudio se concluye:

La adaptabilidad del *Caladium bicolor* a condiciones climáticas adversas, depende en gran parte a las reservas vegetativas del cultivo que se encuentran almacenadas en el tubérculo; una mayor concentración de estas se traduce en un mayor número de plantas y por ende a un mayor rendimiento. La aplicación de fertilización orgánica en el cultivo de *Caladium bicolor* influye de manera positiva en su desarrollo, al incrementar la densidad de raíz, el tamaño del tubérculo y por ende la concentración de almidón y proteínas en las diferentes etapas fisiológicas.

El desarrollo del cultivo alcanzado mediante la implementación de los protocolos de propagación estudiados, son óptimos para considerar la posibilidad de introducir el cultivo de *Caladium bicolor* a la Comarca Lagunera, lo que puede representar una nueva alternativa para los productores de plantas de ornato dedicados a su producción, comercialización y exportación.

## CAPÍTULO 4. LITERATURA CITADA

- Abril, D.N., Ruiz, B.J., Fernández R.E., Galván, C.A., Jorrín, N.J., Peinado, P.J., Toribio M.F. y Túnez F.I. 2015. Espectrofotometría: Espectros de absorción y cuantificación colorimétrica de biomoléculas. Recuperado de [http://www.uco.es/dptos/bioquimica-biol/mol/pdfs/08\\_ESPECTROFOTOMETR%C3%8DA.pdf](http://www.uco.es/dptos/bioquimica-biol/mol/pdfs/08_ESPECTROFOTOMETR%C3%8DA.pdf)
- Almeida, P. S., Méndez, J. B. y Otero, E. F. 2003. Evaluación morfológica de partículas mediante análisis de imagen. Ejemplo de la necesidad de homogeneización y armonización de criterios. Departamento de Farmacia y Tecnología Farmacéutica, Facultad de Farmacia, Universidad de Santiago de Compostela, Campus Universitario sur s/n. 15076 Santiago de Compostela, A Coruña, España.
- Almendros, G., Fruid, R., Martin, F. and González-Vila, F.J.. 1994. Spectroscopic characteristics of derivatized humic acids from peat in relation to soil properties and plant growth. En: Senesi, N. and Miano M.T. (Eds.). Humic substances in the global environment and implications on human health. 1994. Elsevier science B.V. pp. 213-219.
- Azcón, B. J. y Talón, M. 2000. Fundamentos de fisiología vegetal. McGraw-Hill Interamericana, Barcelona, España
- Baguma, Y., Sun, C., Ahlandsberg, S., Mutisya, J., Palmqvist, S., Rubaihayo, P., Magambo, M., Egwang, T., Larsson, H. and Jansson, C. 2003. Expression patterns of the gene encoding starch branching enzyme II in the storage roots of cassava (*Manihot esculenta* Crantz). *Plant Sci.* 164, 833-839.
- Betancur, J. A., Zuluaga, L., Clavijo, Z., Cordero, P. y Salinas, N. R. 2007. Santa María pintada de flores. Serie de guías de campo del Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia Bogotá, Colombia.
- Campbell, M.A., Segear, E., Beers, L., Knauber, D.C. and Suttle, J.C.. 2008. Dormancy in potato tuber meristems: chemically induced cessation in dormancy matches the natural process based on transcript profiles. *Funct. Integr. Genom.* 8:317-328
- Catlin, P. 1998. Root Physiology and rootstock characteristics. Walnut Production Manual. Ch. 15. University of California. Pub. 3373.
- Chang Chien, S.W., Wang, M.C. and Huang, C.C. 2006. Reactions of compost-derived humic substances with lead, copper, cadmium and zinc. *Chemosphere* 64:1253-1361.

- Chefetz, B., Salloum, M.J., Deshmukh, A. P. y Hatcher, P.G. 2002. Structural components of Humic Acids as Determined by Chemical Modifications and Carbon-13 NMR, Pyrolysis-, and Thermochemolysis-Gas Chromatography/Mass Spectrometry. *Soil Science Society of American Journal* 66:1159-1171.
- Claassens, M.M.J. 2002. Carbohydrate metabolism during potato tuber dormancy and sprouting. Tesis de doctorado. Wageningen University, Wageningen, The Netherlands.
- Deng, Z. and Harbaugh, B.K. 2006. 'Garden White'-A large white fancy-leaved Caladium for sunny landscapes and large containers. *Hort. Sci.* 41: 840-2
- Fernie, A.R. and Willmitzer, L. 2001. Molecular and biochemical triggers of potato tuber development. *Plant Physiol.* 127:1459-1465.
- Francis, D. and D.A. Sorrell. 2001. The interface between the cell cycle and plant growth regulators: a mini review. *Plant Growth Regul.* 33:1-12.
- Frias, M. 2006. Requerimiento de frío en frutales. Universidad de Talca, Chile. Pomáceas 4: 4pp.
- Galli, E.; Cegarra, J.R., Tomati, U. and Roig, A. 1994. Effect of humified material on plant metabolism. En Senesi, N. and Miano, M.T. (Eds.). *Humic substances in the global environment and implications on human health.* 1994. Elsevier science B.V. pp. 595-599.
- Gardner, J. 2006. Winter rest and the breaking of dormancy in fruit trees. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs. Ontario. USA. pp.2.
- González, Ch. M. C. Á. 2005. Recuperación de suelos Contaminados con metales pesados utilizando plantas y microorganismos rizostericos, revista *Terra Latinoamericana.* 23: 29-38.
- González, R. 2004. Curso: calibración de espectrofotómetros Ultravioleta-visible. CASMET. Queretaro, Qro. México.
- Hessayon, D.G. 1999. *The Bulb Expert.* Transworld Publishers Ltd. Londres.
- Huang, G.F, Wu, Q.T., Wong, J.W.C and Nagar, B.B. 2006. Transformation of organic matter during composing of pig manure with sawdust. *Bioresource Technology.* 97: 1834-1842.

- Hayes, H.B.M. y Clapp, C.E. 2001. Humic substances: considerations of compositions, aspects of structure, and environmental influences. *Soil Science*. 166:723-737.
- Idárraga-Piedrahita, A., Ortiz, R. D. C., Callejas Posada, R. and Merello, M. 2011. *Fln Antioquia: Cat. 2: 9–939*. Universidad de Antioquia, Medellín.
- Kononova, M.M. 1966. Organic matter, its nature, its role in soil formation and in soil fertility. Second English Edition. Pergamon Press, Oxford.
- Koslowski, T. T. and Pallardy S.G., 1997. *Physiology of woody plants*. Academic Press. New York, N.Y. pp. 411.
- Lallana, V.H. y Lallana Ma. del C. 2003. *Manual de Prácticas de Fisiología Vegetal - Edición digital*. pp.48
- Lehn, J. M. 1995. *Supramolecular chemistry*. VCH. Weinheim. pp.7.
- López, M.A., Bannenberg, G. and Castersana, C. 2008. Controlling hormone signaling is a plant and pathogen challenge for growth and survival. *Current Opinion in Plant Biology* 11: 420-427.
- Ludwig-Müller, J. and Cohen, J.D. 2002. Identification and quantification of three active auxins in different tissues of *Tropaeolum majus*. *Physiologia Plantarum* 115: 320–329.
- MacCarthy, P. 2001. The principles of humic substances. *Soil Science*. 166:738-751.
- Malagamba, P. 1997. Producción de tubérculos-semillas de papa. *Fisiología y manejo de tubérculos-semillas de papa*. Fasc. 2.2- 97. Centro Internacional de la Papa (CIP). Lima.
- Mayol, S.J., Bogner, J., and Boyce, P.C. 1997. *The genera of Araceae*. United Kingdom: Royal Botanic Gardens, Kew.
- Mendizábal, J. A. y Goñi, V. 2001. Aplicaciones de la técnica de análisis de imagen en la determinación de la calidad de la canal y de la carne. Artículo científico. ETSIA. Universidad Pública de Navarra. Campus de Arrosadía. 31006 Pamplona, España.
- Miltner, A. y Zech, W. 1994. Litter decomposition and humification in calcareous soils under mediterranean and temperate climate. En Senesi, N. and Miano, M.T. (Eds.), *Humic substances in the global environment and implications on human health*. 1994. Elsevier science B.V. pp. 667-669.

- Muncharaz, P. M. 2001. El nogal. Técnicas de cultivo para la producción frutal. Ed. Mundi-Prensa. pp. 22-28, 114-117.
- Mukerjea, R. and Robyt, J.F. 2005. Starch biosynthesis: further evidence against the primer nonreducing-end mechanism and evidence for the reducing-end two-site insertion mechanism. Carbohydr. Res. 340, 2206-2211.
- O'Kennedy, B.T. and Titus, J.S. 1979. Isolation and mobilization of storage proteins from apple shoot bark. Physiol. Plant 45. pp. 419-424.
- Pérez-Cañedo, F. 2008. El Siglo de Torreón. Produce la Región la mitad del Estiércol de Vaca en México. 29 de Julio de 2008. Torreón, Coahuila, México.
- Piccolo, A. 2001. The supramolecular structure of humic substances. Soil Science 166:810-832.
- Powell, A., Dozier, W. and Himelrick, D. 2002. Winter chilling requirements. Alabama A and M and Auburn Universities. USA. pp.4.
- Rajae, A., Amir, S., Sovabi, S., Winterton, P., Nobira, V., Revel, V., Revel, J.C. and M. Sauter, J.J., Van Cleve, B. and Apel, K. 1990. Protein bodies in ray cells of *Populus x Canadensis* Moench 'robusta'. Planta 173:31-34.
- Schnitzer, M. y Khan, S.U.. 1978. Soil Organic Matter. Elsevier Scientific Publication Co., Amsterdam, The Netherlands.
- Schnitzer, M., Dinel, H., Schulten, H.R., Paré, T. and S. Lafond. 2000. Humification of duck farm wastes. En: Ghabour, E.A., Davies, G. (Eds.) Humic Substances: Versatile Components of Plants, Soil and Water. The Royal Society of Chemistry. pp. 20-34.
- Sorce, C., Lombardi, L., Giorgetti, L., Parisi, B., Ranalli, P. and Lorenzi, R. 2009. Indoleacetic acid concentration and metabolism changes during bud development in tubers of two potato (*Solanum tuberosum*) cultivars. J. Plant Physiol. 166:1023 1033.
- Skoog, D.A., Leary, J.J. and Holler, F. J. 1998. Principios de análisis instrumental. 5° ed.; Ed. McGraw-Hill (1998). pp. 353-367.
- Staswick, P.E. 1994. Storage proteins of vegetative plant tissue. Annu. Rev. Plant Physiol and Plant Molecular Biology. 45. pp. 303-322.

- Stepien, V. and Martin, F. 1994. Purification, characterization and localization of the bark storage proteins of poplar. *Plant Physiol. Biochem.* 30: 399-407.
- Suttle, J.C. 2003. Auxins-induced sprout growth inhibition: role of endogenous ethylene. *Amer. J. Potato Res.* 80:303-309.
- Suttle, J.C. 2004a. Involvement of endogenous gibberellins in potato tuber dormancy and early sprout growth: a critical evaluation. *J. Plant Physiol.* 161:157-164.
- Suttle, J.C. 2004b. Physiological regulation of tuber dormancy. *Amer. J. Potato Res.* 81:253-262.
- Suttle, J.C. 2007. Dormancy and sprouting. En: Vreugdenhil, D., J. Bradshaw, C. Gebhardt, F. Govers, D.K.L. MacKerron and H.A. Ross. *Potato biology and biotechnology advances and perspectives.* Elsevier, Amsterdam. pp. 287-309.
- Valenzuela, L.M., Gérant, D., Maillard, P., Bréda, N., González, G., y Sánchez, I. 2011. Evidence for 26kDA vegetative storage protein in the stem sapwood of mature pedunculate oak. *Interciencia* 36:142-147.
- Veeken, A., Nierop, K.; Wilde V and Hamelers, B. 2000. Characterization of NaOH-extracted humic acids during composting of a biowaste. *Bioresource Technology* 72:33-41.
- Viola, R., J. Pelloux, A. van der Ploeg, T. Gillespie, N. Marquis, A.G. Roberts y R.D. Hancock. 2007. Symplastic connection is required for bud outgrowth following dormancy in potato (*Solanum tuberosum* L.) tubers. *Plant Cell Environ.* 30, 973-983.
- Ventenat, E. P. 1800. *Magasin Encyclopédique* 4(16): 464–471.
- Weaver, Robert. 1980. "Reguladores del crecimiento de las plantas en la agricultura". Ed. Trillas México. Cap. 10, pp.359
- Whistler, W. 2000. *Tropical Ornamentals, A Guide.* Timber Press, Inc. Portland, Oregon, USA.
- Wu, L. and L.Q. Ma. 2002. Relationship between Compost Stability and Extractable Organic Carbon. *Journal of Environmental Quality* 31:1323-1328.
- Yuri, J.A. 2002. El receso en frutales. Universidad de Talca, Chile. *Pomáceas* 4: pp.1-3

## **CAPÍTULO 5. ANEXOS**



**Anexo 1. Carta de aceptación de artículo 1 a Revista Mexicana de Ciencias  
Agrícolas.**



Texcoco, Estado de México, 01 de octubre de 2014  
Ref.: 483-14

**DR. LUIS MANUEL VALENZUELA NÚÑEZ  
FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS  
UNIVERSIDAD JUÁREZ DEL ESTADO DE DURANGO  
PRESENTE:**

Por medio de la presente se hace constar que el manuscrito titulado: “Concentración de almidón y proteínas solubles en tubérculos de *Caladium bicolor* en diferentes etapas fenológicas” del cual son autores(as): Ixchel Abby Ortiz Sánchez, Vicente de Paul Álvarez Reyna, Guillermo González Cervantes, Luis Manuel Valenzuela Núñez, María Del Camen Potisek Talavera y Jorge Armando Chávez Simental, fue aceptado para ser publicado en el Vol. 6 Núm. 3 01 de abril-15 de mayo de 2015 en la Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas.

Sin otro particular, le envío un cordial saludo.

Atentamente

**DRA. DORA MA. SANGERMAN-JARQUÍN  
EDITORA EN JEFA DE LA REVISTA  
MEXICANA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS**

c.c.p. \* Archivo  
DMSJ/mdpg

Carretera Los Reyes-Texcoco, km 13.5. Coatlínchán, Texcoco, Estado de México, México. C. P. 56250  
E-mail: revista\_atm@yahoo.com.mx. Tel. y Fax: 01 595 9212681

## **Anexo 2. Carta de recepción de artículo a Revista Agrociencia**

From: gonzalez.guillermo@inifap.gob.mx  
To: ixchel\_abby@hotmail.com  
Date: Tue, 13 Jan 2015 09:17:53 -0600  
Subject: RV: RV: articulo para su arbitraje

**De:** Agrociencia Colpos [mailto:agrociencia14@gmail.com]  
**Enviado el:** jueves, 8 de enero de 2015 02:24 p. m.  
**Para:** GONZALEZ CERVANTES GUILLERMO  
**Asunto:** Re: RV: articulo para su arbitraje

*Con base en las normas de la revista, es responsabilidad del Director de Agrociencia que antes de enviar una contribución a arbitraje, se verifique que cumpla con el formato y la estructura establecidos, **oportunamente se le comunicará el dictamen respectivo.***

**Yolanda Feroso Meraz**

*Editorial del Colegio de Postgraduados*

*Revista Agrociencia*