

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA



“Evaluación de cuatro sustratos para la propagación de croton
(*Codiaeum variegatum*) en Escuintla, Guatemala.”

Trabajo de graduación presentado por
Fredy Carlos Haroldo Cruz Soto
para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería en
Tecnología Agrícola y Pecuaria

Guatemala,
2017

“Evaluación de cuatro sustratos para la propagación de croton
(*Codiaeum variegatum*) en Escuintla, Guatemala.”

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA



“Evaluación de cuatro sustratos para la propagación de croton
(*Codiaeum variegatum*) en Escuintla, Guatemala.”

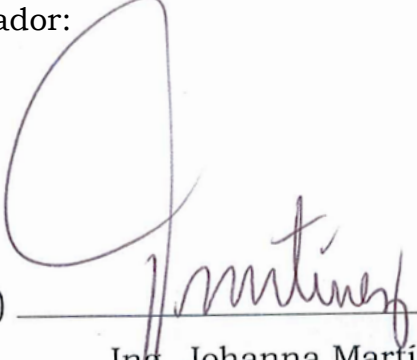
Trabajo de graduación presentado por
Fredy Carlos Haroldo Cruz Soto
para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería en
Tecnología Agrícola y Pecuaria

Guatemala,
2017

Vo. Bo. :

(f) 
Ing. Johanna Martínez

Tribunal Examinador:

(f) 
Ing. Johanna Martínez

(f) 
Ing. Fernando Hernández

(f) 
Ing. Fernando Rivera

Fecha de aprobación: Guatemala, 19 de enero de 2017.

CONTENIDO

LISTA DE CUADROS	viii
LISTA DE GRÁFICAS	ix
RESUMEN	x
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. OBJETIVOS	2
2.1 GENERAL	2
2.2 ESPECÍFICOS	2
III. JUSTIFICACIÓN	3
IV. MARCO TEÓRICO	4
1. CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA.....	4
2. DESCRIPCIÓN GENERAL	4
3. REQUERIMIENTOS EDAFOCLIMÁTICOS	4
3.1 Temperatura.	4
3.2 Humedad del suelo.....	5
3.3 Humedad relativa.	5
3.4 Luz.	5
3.5 Sustrato en contenedor o maceta.	5
3.6 pH.	5
3.7 Multiplicación por tips (meristemos apicales).....	5
4. SUSTRATO.....	5
5. PROPIEDADES DE LOS SUSTRATOS.....	6
5.1 Propiedades físicas.	6
5.1.1 Porosidad.	6
5.1.2 Densidad.....	7
5.1.3 Estructura.	7
5.2 Propiedades químicas.	7
5.2.1 Capacidad de Intercambio Catiónico.....	7
5.2.2 Salinidad.....	7
5.2.3 pH.	8

5.2.4 Relación Carbono/Nitrógeno.	8
5.3 Propiedades biológicas.	8
5.3.1 Velocidad de descomposición.	9
5.3.2 Efectos de los productos de descomposición.	9
6. MATERIALES USADOS COMO SUSTRATOS	9
6.1 Sustratos de materiales orgánicos.	9
6.2 Materiales inorgánicos o minerales.	9
7. CARACTERÍSTICAS DEL SUSTRATO IDEAL	10
7.1 Propiedades físicas	10
7.2 Propiedades químicas	10
7.3 Otras propiedades	10
7.4 Objetivo de mezclar sustratos.	10
7.5 Fibra de coco.	11
7.6 Arena de río.	12
7.7 Arena blanca.	12
7.8 Cachaza de caña de azúcar.	12
V. MARCO METODOLÓGICO	14
1. MATERIALES UTILIZADOS	14
2. METODOLOGÍA	14
2.1 Preparación de la unidad experimental.	14
2.2 Preparación del sustrato.	14
2.3 Riego.	15
2.4 Diseño experimental.	15
2.5 Unidad experimental.	15
2.6 Selección del material vegetativo.	15
2.7 Enraizador.	16
2.8 Variables de respuesta.	17
2.9 Análisis estadístico.	17
2.10 Hipótesis.	17
2.11 Análisis químico.	17

VI. RESULTADOS.....	18
1. RESULTADOS DE DESARROLLO RADICULAR	18
1.1 Longitud radicular.....	18
1.2 Peso radicular fresco	19
1.3 Peso radicular seco.....	21
1.4 Contenido de humedad.....	22
2. ANÁLISIS QUÍMICO.....	23
3. COSTOS DEL EXPERIMENTO.....	24
3.1 Plantas para el experimento.....	24
3.2 Porcentaje de mortandad.	24
3.3 Costo-Beneficio.	25
VII. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	26
1. DESARROLLO RADICULAR	26
1.1 Longitud radicular.....	26
1.2 Peso radicular fresco.	26
1.3 Peso radicular seco.....	26
1.4 Contenido de humedad.....	27
2. COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LOS SUSTRATOS.....	27
3. COSTO BENEFICIO.....	27
VIII. CONCLUSIONES.....	29
IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	30

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Propiedades físicas de los sustratos.....	13
Cuadro 2. Descripción de tratamientos.....	18
Cuadro 3. Análisis de varianza de longitud radicular.	18
Cuadro 4. Prueba de Tukey de longitud radicular (cm).....	18
Cuadro 5. Análisis de varianza de peso radicular fresco.	19
Cuadro 6. Prueba de Tukey de peso radicular fresco (g).....	20
Cuadro 7. Análisis de varianza de peso radicular seco.....	21
Cuadro 8. Prueba de Tukey de peso radicular seco (g).....	21
Cuadro 9. Análisis de varianza de porcentaje de humedad.	22
Cuadro 10. Prueba de Tukey de porcentaje de humedad (%).....	22
Cuadro 11. Análisis químico de los cuatro sustratos.....	23
Cuadro 12. Costo total de 75 tips por tratamiento.	24
Cuadro 13. Porcentaje de mortandad en cada tratamiento.	24
Cuadro 14. Análisis de costo-beneficio.	25

LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Longitud radicular (cm).....	19
Gráfica 2. Peso fresco radicular (g).	20
Gráfica 3. Peso radicular seco (g).....	21
Gráfica 4. Porcentaje de humedad (%).	23

RESUMEN

La investigación evaluó el efecto de cuatro sustratos en el desarrollo radicular de crotón (*Codiaeum variegatum*) en presentación de tips. El experimento se llevó a cabo en las instalaciones de la Universidad del Valle de Guatemala, Campus Sur, ubicada en Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla. Las variables de respuesta fueron: longitud radicular, peso fresco radicular, peso seco radicular, contenido de humedad, contenido de nutrientes y rentabilidad del sustrato. Se utilizaron sustratos disponibles en la región en diferentes combinaciones, siendo la arena blanca (100%) el sustrato testigo; fibra de coco y arena blanca (60/40); cachaza y arena blanca (50/50); arena blanca y arena negra (50/50). El diseño experimental utilizado fue el diseño completamente al azar (DCA), con cuatro tratamientos y 3 repeticiones cada uno. A través del análisis de varianzas y pruebas de medias por medio del método Tukey, se determinó que el tratamiento 1 (fibra de coco y arena blanca) fue el que presentó las mejores condiciones para el desarrollo radicular. En la variable longitud radicular presentó una media de 5.88 cm, con un peso radicular fresco de 0.7834 g, un peso radicular seco de 0.5713 g y contenido de humedad de 27.01%. A pesar de los rendimientos obtenidos, se recomienda utilizar el tratamiento 3 (arena blanca y negra) por ser el que presenta mayor rentabilidad (75.30%).

I. INTRODUCCIÓN

Guatemala es un país privilegiado que cuenta con suelos fértiles, diversidad de climas y zonas altitudinales que permiten una gran variedad de cultivos. Aunque los suelos son de vocación forestal, la explotación agrícola es una de las principales actividades.

Una de las actividades económicas del país es el cultivo y comercialización de plantas ornamentales. Gracias a esto, Guatemala se encuentra en el top 10 de países que exportan plantas y flores ornamentales a Estados Unidos (agexport, 2016).

Entre estas se encuentra el crotón (*Codiaeum variegatum*), la cual es una de las plantas que Tarrales, S.A., exporta en presentación de tips a diferentes mercados internacionales.

Los tips de crotón se comercializan en los diferentes mercados a un precio estándar de \$ 0.04 sin raíces. En estos países existe la oportunidad de exportar tips con raíces a un precio de \$ 0.15 cada uno.

En la región existen diferentes tipos de sustratos los cuales se pueden utilizar para la producción y exportación de tips con raíces, entre estos están: fibra de coco, arena blanca, arena negra y cachaza. En el presente experimento se estará evaluando el rendimiento y rentabilidad de cada uno.

II. OBJETIVOS

2.1 GENERAL

- Evaluación de cuatro sustratos para la propagación de croton (*Codiaeum variegatum*) en Escuintla, Guatemala.

2.2 ESPECÍFICOS

- Evaluar la eficiencia de sustratos para *Codiaeum variegatum*, a través de longitud radicular a los 30 días de inicio de propagación.
- Determinar las características químicas de los sustratos evaluados en la producción de tips con raíces.
- Realizar un análisis de costos de la producción de tips en los sustratos a evaluar, para determinar la alternativa que tenga la mejor relación costo/beneficio.

III. JUSTIFICACIÓN

Se buscan diferentes opciones que proporcionen el mejor medio para el desarrollo de la planta, especialmente del sistema radicular. Existen diferentes sustratos que pueden brindar un buen soporte al cultivo y que al mismo tiempo cumplen con los requisitos que los países objetivos tienen.

El sustrato ideal será el que tenga mejores condiciones de porosidad y disposición de sus partículas tales que permitan la penetración y desarrollo de las raíces, que retengan el agua y el aire en cantidades suficientes, y que brinde un buen soporte para el correcto desarrollo del cultivo, a la vez que se busca que sea inocuo y sustentable económicamente.

Todos los materiales con los que se trabajará para elaborar los sustratos se adquieren fácilmente en la región, a excepción de la fibra de coco que se importa del extranjero (tiene la característica de ser completamente inocua, con pH neutro). Aprovechando los recursos disponibles en la reserva, se busca sentar las bases para producir y poder enviar plantas completamente desarrolladas que cumplan con los requerimientos de los diferentes países objetivos, aumentando el valor en el mercado por el estado del cultivo y al mismo tiempo disminuyendo los costos de producción por el uso de sustratos elaborados con material más económico.

Con los resultados de la investigación, se pretende implementar el sustrato que logre mejores rendimientos en la producción de tips con raíces.

IV. MARCO TEÓRICO

CROTON (*Codiaeum variegatum*)

1. CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA

Reino: Plantae
Sub-reino: Tracheobionta
Superdivisión: Spermatophyta
División: Magnoliophyta
Clase: Magnoliopsida
Subclase: Rosidae
Orden: Euphorbiales
Familia: Euphorbiaceae
Género: *Codiaeum*
Especie: *Codiaeum variegatum* L.

2. DESCRIPCIÓN GENERAL

El *Codiaeum*, mejor conocido como croton, apelativo con el que se llama en su país de origen, Malasia, pertenece a la familia de las Euphorbiaceae y es una estupenda planta, muy estimada por la belleza de sus hojas. Presenta hojas que se hacen muy grandes tendentes al verde e inestablemente jaspeadas y onduladas con las nervaduras evidentes que asumen una coloración variable del amarillo al rojo.

Sus hojas son de disposiciones alternas, pecioladas, persistentes y coráceas; su coloración es variable, dentro de un rango del verde al rojizo, con tonos amarillos también. Dicha coloración puede ser moteada o listada. La forma foliar es variable, aunque suele oscilar entre linear a lobulada, con una lámina cambada y los márgenes ondulados. Las flores, como en el resto de representantes de la familia Euphorbiaceae, están agrupadas en ciatios aunque tienen escaso interés ornamental.

3. REQUERIMIENTOS EDAFOCLIMÁTICOS

3.1 Temperatura. El rango de temperatura para el desarrollo óptimo del cultivo está entre 25°C y 32°C. Es aconsejable una temperatura constante. Es importante que no se produzcan cambios bruscos, esta es una de las claves del éxito.

3.2 Humedad del suelo. La humedad del suelo debe estar entre 70-80%.

3.3 Humedad relativa. La humedad relativa óptima es de 60%.

3.4 Luz. Doce horas luz, dándose una mayor actividad fotosintética entre 7 y 11 de la mañana. La iluminación debe ser intensa para mantener vivos los colores. Puede darle los rayos directos del sol, pero no es recomendable, en este caso la humedad del aire tendría que ser más alta. Cuanto mejor sea la iluminación, mejor será el colorido de las hojas.

3.5 Sustrato en contenedor o maceta. Debe ser un sustrato ligero y poroso que no presente problemas de drenaje, pues no tolera en absoluto la acumulación de agua en la maceta. El más leve encharcamiento provocará la inmediata caída de las hojas.

3.6 pH. Necesita un pH ligeramente ácido a neutro, el rango para el desarrollo óptimo está entre 6 y 7.

3.7 Multiplicación por tips (meristemos apicales). Los tips a cortar deben tener un mínimo de 5 y máximo de 8 hojas, teniendo especial cuidado en no incluir hojas lastimadas ni pequeñas.

4. SUSTRATO

Abad *et al.*, (2004) señalan que un sustrato es todo material sólido diferente al suelo in situ, natural, de síntesis o residual, mineral u orgánico que, colocado en un contenedor, en forma pura o en mezcla, permite el anclaje del sistema radicular desempeñando un papel de soporte para la planta.

Kämpf *et al.*, (2006) definen como sustrato al medio poroso donde se las raíces se pueden desarrollar fácilmente y que se relaciona con el cultivo en recipientes fuera del suelo in situ.

Resumiendo las definiciones de los diferentes autores, un sustrato se define como cualquier material que proporciona anclaje, nutrimentos, oxígeno y agua en cantidades suficientes para el desarrollo óptimo de las plantas, cubriendo estos requerimientos en su totalidad con un solo material o en combinación con otros, los cuales se colocan en un contenedor.

5. PROPIEDADES DE LOS SUSTRATOS

Los materiales que se usan como medios de crecimiento o sustratos para la producción de plantas en contenedores o macetas, tienen la función de servir de soporte a la planta, retener agua, aire y nutrientes para el adecuado desarrollo de raíces y parte aérea (Burés, 1997). Para cumplir con todas estas características, el sustrato debe tener ciertas propiedades físicas, químicas y biológicas para propiciar el medio óptimo para el desarrollo adecuado de la misma.

5.1 Propiedades físicas. Las propiedades físicas adquieren mayor relevancia respecto a las demás, ya que una vez colocado el sustrato en el contenedor, es difícil modificarlo positivamente (Abad *et al.*, 2004). Todas estas características se deben examinar cuidadosamente al momento de elegir el sustrato ya que están en función del cultivo en el que se va a utilizar y el objetivo que se persiga en particular, por ejemplo, si se busca producir plantas de ciclo corto o largo, o si solo se destina a la producción de material radicular.

Las propiedades físicas que usualmente se determinan son el espacio poroso total, capacidad de aireación, capacidad de retención de agua, densidad aparente y densidad real (Baixauli *et al.*, 2002):

5.1.1 Porosidad. Es el volumen total del medio que no está ocupado por las partículas sólidas que se agregan al contenedor, lo que puede dar espacio al agua y aire. El valor óptimo para esta característica no debería ser inferior a 80-85%, ya que así, la capacidad de retención de agua y capacidad de aire propiciarían un mejor medio para el desarrollo radicular de la planta.

- **Capacidad de aire:** Es la proporción de aire en el medio en el sustrato. Los valores que se buscan para esta variable están en función del tamaño de partícula utilizada en el medio de crecimiento y del contenedor, estos deben estar en un rango de 10-35%.
- **Capacidad de retención de agua:** Corresponde a la cantidad de agua en el sustrato después de haber drenado el exceso al realizar el riego en el contenedor o maceta. Esta variable depende del tamaño de partícula utilizada en el medio de crecimiento, así como la naturaleza de los materiales empleados.

5.1.2 Densidad. Hay dos formas de expresar la densidad de un sustrato. La densidad aparente, se define como la masa seca contenida en un centímetro cúbico de medio de cultivo, depende del grado de compactación y del tamaño de partícula. La densidad real es la densidad de las partículas sólidas del sustrato.

5.1.3 Estructura. Puede ser granular o fibrosa, dependiendo del tipo de medio que se va a utilizar. La estructura granular tiende a acoplarse fácilmente a la forma del contenedor, mientras que la estructura fibrosa dependerá de las características de las fibras utilizadas.

5.2 Propiedades químicas. En lo que se refiere a las propiedades químicas, los sustratos orgánicos son los que contribuyen en mayor grado a estas propiedades. La capacidad de intercambio catiónico (CIC), disponibilidad de nutrientes, salinidad y la relación C/N son las más importantes. Alarcón (2000), señala que las propiedades químicas de un sustrato establecen la transferencia de materia entre el sustrato y la disolución, siendo de notable importancia en los materiales orgánicos.

5.2.1 Capacidad de Intercambio Catiónico. La CIC es una medida de la capacidad de retención de nutrientes que depende fundamentalmente del pH y del contenido y composición de la materia orgánica y arcilla de la fase sólida, la cual incrementa conforme lo hace el pH (Abad *et al.*, 2004).

Según Nuez, (2001); se define como la suma de los cationes cambiables que pueden ser adsorbidos por unidad de peso (o de volumen) del sustrato. Dichos cationes quedan así retenidos frente al efecto lixivante del agua y están usualmente disponibles para la planta.

La capacidad de los sustratos orgánicos para adsorber cationes metálicos depende del pH: cuanto más alto es el pH, más elevada es la capacidad de intercambio catiónico.

5.2.2 Salinidad. Es la concentración de sales solubles en la solución del sustrato, la cual suele ser elevada en sustratos orgánicos. Dicha característica de los sustratos, por ejemplo, la fibra de coco, hace que sea más probable encontrar mayor acumulación de sales en comparación al

suelo. Un efecto adverso de la salinidad, es que puede ocasionar un retraso en el crecimiento y desarrollo de la planta, aunque no todas se ven afectadas de la misma manera, ya que el crecimiento aéreo se ve más afectado que el crecimiento de las raíces.

La salinidad de una solución acuosa se mide por el contenido de sales disueltas (mg/l o ppm), estas sales le dan la capacidad al sustrato de conducir la corriente eléctrica (ms/cm o $\mu\text{S/cm}$).

5.2.3 pH. Es la medida de la concentración de acidez presente en la solución del sustrato que controla la disponibilidad de todos los nutrientes. pH 7 es neutro, menor de 7 es ácido, y mayor de 7 es alcalino o básico.

5.2.4 Relación Carbono/Nitrógeno. Es importante el contenido de nitrógeno (N) en relación con carbón (C) en el medio de enraizamiento. La materia orgánica se descompone principalmente por la acción de microorganismos. El carbono es el mayor componente de la materia orgánica (50% o más), el cual es utilizado por los microorganismos. El nitrógeno en la materia orgánica debe estar disponible, para los microorganismos, en cantidad de al menos 1kg por cada 30kg de carbono; de otra manera la descomposición se reduce. Cada vez que esta relación de 1:30 es excedida, el nitrógeno presente en el medio, o el añadido en el fertilizante, será utilizado por los microorganismos antes que por las raíces del cultivo; y en consecuencia el cultivo presentará deficiencia de N. Esta situación puede compensarse aumentando la aplicación de nitrógeno.

5.3 Propiedades biológicas. La actividad microbiológica presente en los sustratos es claramente perjudicial. Los microorganismos compiten con las raíces por el oxígeno y nutrientes presentes en el medio y degradan las características físicas del sustrato, -esta actividad está relacionada con la relación C/N, mientras más MO haya en el suelo, mayor es la actividad biológica-. Generalmente, la actividad microbiológica disminuye la capacidad de aireación del sustrato, lo que provoca asfixia a las raíces.

Así las propiedades biológicas de un sustrato se pueden concretar en:

5.3.1 Velocidad de descomposición. La velocidad de descomposición está función de la población microbiana y de las condiciones ambientales en las que se encuentre el sustrato. Esta puede provocar deficiencias de oxígeno y de nitrógeno, liberación de sustancias fitotóxicas y contracción del sustrato. La disponibilidad de compuestos biodegradables (carbohidratos, ácidos grasos y proteínas) determina la velocidad de descomposición.

5.3.2 Efectos de los productos de descomposición. Muchos de los efectos biológicos de los sustratos orgánicos se atribuyen a los ácidos húmicos y fúlvicos, que son los productos finales de la degradación biológica de la lignina y la hemicelulosa. Una gran variedad de funciones vegetales se ve afectadas por su acción.

6. MATERIALES USADOS COMO SUSTRATOS

Existen diferentes criterios de clasificación de los sustratos, se definen dos grandes grupos (Abad *et al.*, 2004): Sustratos de materiales orgánicos y sustratos de materiales inorgánicos.

6.1 Sustratos de materiales orgánicos. Son los sustratos químicamente activos, se subdividen en:

- De origen natural (turba o peatmoss).
- De síntesis (espuma de poliuretano, poliestireno expandido).
- Residuos y subproductos de diferentes actividades, aunque este tipo de materiales deben ser previamente acondicionados mediante un proceso de compostaje o vermicompostaje.

6.2 Materiales inorgánicos o minerales. Sustratos químicamente inertes, estos materiales también se subdividen en:

- De origen natural (rocas de tipo volcánico, piedra pómez, arena, grava).
- Materiales transformados o tratados industrialmente (perlita, vermiculita, arcilla expandida y lana de roca).
- Residuos y subproductos industriales (escorias de horno alto, estériles de carbón).

Las diferencias entre ambos vienen determinadas por la capacidad de intercambio catiónico o la capacidad de almacenamiento de nutrientes por parte del sustrato.

7. CARACTERÍSTICAS DEL SUSTRATO IDEAL

El desarrollo óptimo de la planta depende de numerosos factores, uno de ellos es el medio de cultivo en el que se establece. Los sustratos deben cumplir con ciertas características para obtener buenos resultados durante el crecimiento y desarrollo inicial de la planta. Las características ideales que se buscan en un sustrato son:

7.1 Propiedades físicas

- Elevada capacidad de retención de agua.
- Suficiente suministro de aire.
- Baja densidad aparente.
- Elevada porosidad.
- Estructura estable, que impida la contracción o hinchazón del medio.

7.2 Propiedades químicas

- Suficiente nivel de nutrientes asimilables.
- Baja salinidad.
- Elevada capacidad tampón y capacidad para mantener constante el pH.
- Mínima velocidad de descomposición.

7.3 Otras propiedades

- Libre de semillas de malas hierbas, nematodos y otros patógenos y sustancias fitotóxicas.
- Fácil de mezclar.
- Fácil de desinfectar y estabilidad frente a la desinfección.
- Resistencia a cambios externos físicos, químicos y ambientales.

7.4 Objetivo de mezclar sustratos. Un sustrato no solo proporciona soporte a las plantas como se piensa, sino que fomenta un buen enraizamiento, una excelente nutrición, fortalecimiento de tallo, entre muchas cosas más; en realidad ayuda a obtener plantas sanas desde la siembra hasta la cosecha.

Las propiedades físicas de los sustratos difieren mucho entre ellos y la mejor manera de corregir las características desfavorables de cada uno es combinarlos. Por ejemplo, la capacidad de aireación deficiente de una turba negra muy descompuesta o de un suelo arcilloso que, por otro lado, tienen una capacidad de retención del agua apreciable, se puede corregir con materiales como la arena, el poliestireno, la perlita o la arcilla expandida, que tienen en común su buena aireación.

Si se utilizan sustratos muy pesados y duros "apretarán" las raíces haciendo que estas no crezcan mucho; en cambio los sustratos blandos, que son más ligeros, permiten que las raíces tengan la libertad necesaria para crecer y desarrollarse adecuadamente.

Un solo sustrato no puede proporcionar todas las características necesarias para obtener un buen cultivo, por lo que es necesario realizar combinaciones y mezclas para complementar las carencias entre uno y otro. Así que se pueden combinar y mezclar sustratos de diferentes maneras, proporciones y tipos para obtener una sola mezcla que más se adecúe al cultivo.

7.5 Fibra de coco. Físicamente, corresponde a la cubierta protectora o cáscara de la fruta (mesocarpio) del cocotero (*Cocos nucifera*). Es un remanente luego de la extracción de aceite y pulpa de coco, o bien, después del consumo para bebidas.

La fibra de coco tiene la característica de retener niveles altos de humedad sin llegar a saturarse, logrando drenar los excesos y manteniendo una adecuada relación de aire-agua. La larga vida del sustrato es otra de sus principales características, dependiendo del manejo se puede llegar a usar hasta cinco años sin perder el contenido y longitud de las fibras. Una vez que cumple su vida útil, en calidad de materia orgánica, puede ser incorporado al suelo para mejorarlo.

Para lograr mantener sus características desde el principio, uno de los factores clave que hay que tener en cuenta al momento de elaborar el sustrato es que el material inicial corresponda a frutos de no más de 24 meses. El compostaje debe prolongarse por 12 a 18 meses para asegurar la degradación del material residual y evitar fermentaciones en la bolsa una vez plantado.

La fibra de coco puede ser usada en dos tipos de formatos: suelta o semi-comprimida. La fibra suelta se comprime en bloques con el fin de reducir los costos de transporte y almacenaje, se hidrata y se usa directamente en mezclas o sola. El formato semi-comprimido se utiliza sin necesidad de preparar mezclas.

7.6 Arena de río. La arena es uno de los materiales más utilizados debido a su fácil obtención, disponibilidad y costo. Las recomendaciones sobre su tamaño son considerablemente variables. Su granulometría más adecuada oscila entre 0,5 y 2 mm de diámetro. Su capacidad de retención del agua es media-baja (20 % del peso y más del 35 % del volumen); su capacidad de aireación disminuye con el tiempo a causa de la compactación; Es relativamente frecuente que su contenido en caliza alcance el 8-10 %. Algunos tipos de arena deben lavarse previamente. Su pH varía entre 4 y 8. Su durabilidad es elevada. Es bastante frecuente su mezcla con turba, como sustrato de enraizamiento y de cultivo en contenedores.

7.7 Arena blanca. Es uno de los materiales más utilizados por su facilidad de manejo y granulometría, ya que se obtiene un buen drenaje general al homogeneizarse bien con el resto de componentes del sustrato obteniéndose una mezcla ideal para el enraizamiento de tips.

La arena es el agregado grueso que más se emplea, pero a la vez, el más pesado. El peso adicional aumenta costos de manejo y embarque de plantas cultivadas en un medio que la contiene. Es baja en nutrientes y en capacidad de retención de humedad, y es química y biológicamente inerte. Un medio que contiene arena debe ser pasteurizado porque puede estar contaminada con patógenos del suelo.

El tamaño de partícula de la arena es un factor crítico en la selección de este componente. Las arenas finas contribuyen poco en mejorar las condiciones del sustrato, y su uso puede resultar en una reducción del drenaje y la aireación. Algunas arenas pueden contener limo y arcilla por lo que se deben lavar completamente para remover estas partículas muy finas. Es preferible una arena limpia con tamaños de partícula de 0.5 a 2mm de diámetro. El porcentaje de partículas medias (0.25 a 0.5mm) y finas (0.05 a 0.25mm) deben formar una proporción relativa pequeña de la arena usada en un medio de cultivo. De otro modo, la adición de arena puede producir un cemento, junto con las partículas del suelo, y provocar una compactación mayor que la deseada.

7.8 Cachaza de caña de azúcar. La cachaza o torta de filtro es el principal residuo de la industria del azúcar de caña, produciéndose de 30 a 50 kg por tonelada de materia prima procesada, lo cual representa entre 3 y 5 % de la caña molida. Este porcentaje y su composición varían con las características agroecológicas de la zona, con el cultivar cosechado, eficiencia de fábrica, método de clarificación empleado, entre otros factores.

La cachaza es producida durante la clasificación que se hace al jugo de caña en la industria azucarera. Se recoge a la salida de los filtros al vacío, presentando aproximadamente un 25% de materia seca. Este material contiene muchos de los coloides de la materia orgánica originalmente dispersa en el jugo, conjuntamente con aniones orgánicos e inorgánicos que precipitan durante la clarificación.

Es muy rica en elementos minerales, en especial fósforo, potasio, calcio y magnesio. Tiene un pH alto (cerca de 8-10), pero es bajado con el compostado (pH 5.5) y la adición de fertilizante acidulante, como sulfato de amonio.

En la siguiente tabla se puede observar las propiedades físicas de los sustratos a evaluar:

Cuadro 1. Propiedades físicas de los sustratos.

Propiedades físicas de los sustratos				
	Fibra de coco	Bagazo de caña/cachaza	Arena de río	Arena blanca
% de humedad	21.5	8.9	1.6	1.8
Porosidad total	81.8	89.4	37.3	39.4
Porosidad de aireación	16.3	47	4.7	5.3
Retención de humedad (%)	65.3	42.4	32.6	32.9
Densidad aparente (Mg/m³)	0.077	0.065	1.458	1.576
Capacidad de campo	16.00	7.6	14.72	14.3

Bioagro, 2003.

V. MARCO METODOLÓGICO

1. MATERIALES UTILIZADOS

- Arena de río
- Arena blanca
- Fibra de coco
- Cachaza
- Ácido indolacético a concentración de 40%, nombre comercial – Raizal-
- Bandejas de propagación
- Cernidora
- Ollas
- Cubeta
- Balanza analítica
- Horno de secado
- Costal
- Agua

2. METODOLOGÍA

2.1 Preparación de la unidad experimental. Se realizó una limpieza del área designada y se cubrió el suelo con una cama de piedra pómez y cal para evitar encharcamientos en la época de invierno.

2.2 Preparación del sustrato. Se lavó la arena blanca y arena de río para eliminar cualquier partícula de arcilla y limo que pudieran afectar el sustrato. Posteriormente, se procedió a cernirla con tamices, los cuales tenían una apertura de mesh 0.05 mm.

Se llenó un costal con cada sustrato y se procedió a desinfectar sumergiéndolos en agua hirviendo durante 10 minutos, con el fin de eliminar cualquier microorganismo patógeno presente.

Los porcentajes de las mezclas se elaboraron a base de volumen utilizando una cubeta como referencia. Las mezclas de los sustratos se hicieron en las siguientes proporciones para los diferentes tratamientos:

- T0 Arena blanca (Testigo)
- T1 Fibra de coco y arena blanca (60/40)
- T2 Cachaza y arena blanca (50/50)
- T3 Arena de río y arena blanca (50/50)

Cada mezcla de sustrato se remojó hasta que la humedad fue homogénea, luego se drenó el exceso de agua.

2.3 Riego. Se realizó una inspección de humedad en la mañana y una en la tarde, dependiendo de esta, se aplicó el riego.

2.4 Diseño experimental. Se utilizó un diseño completamente al azar con tres tratamientos (sustratos), un control y tres repeticiones cada uno. El modelo estadístico empleado fue:

$$Y_{ij}: \mu + T_i + E_{ij}$$

En donde:

- Y_{ij} = Variable respuesta de la ij -ésima unidad.
- μ = Media poblacional.
- T_i = Efecto del i -ésimo tratamiento
- E_{ij} = Error experimental
- $i = 1, 2, 3, 4$, tratamientos
- $j = 1, 2, 3$, repeticiones

2.5 Unidad experimental. La unidad experimental estuvo conformada por cuatro bandejas de ochenta celdas cada una, de 70 cc de volumen por celda.

2.6 Selección del material vegetativo. La obtención del material vegetativo se realizó a través de la cosecha manual, este proceso comienza con la selección de las partes apicales que presentan las mejores características visuales, y posteriormente, con la corta de cada uno de los ejemplares, los cuales se conocen como tips. Los tips que *Tarrales, S.A.* produce se clasifican de la siguiente forma:

- Tips sin raíces
- Tips encallados
- Tips con raíces

Los criterios que debe cumplir cada tip para que pueda ser enviado a su destino son los siguientes:

- No debe tener hojas con daño mecánico.
- Tener mínimo 6-8 hojas jóvenes.
- Debe presentar hojas con colores brillantes.
- No debe presentar malformaciones en las hojas.
- Hojas sanas, sin ningún tipo de manchas.

Se debe asegurar que el material vegetativo tenga el tamaño requerido de acuerdo al mercado objetivo.

La selección de tips se realizó de forma visual. Por medio de este método se buscan los tamaños manejados por Reserva Tarrales, los cuales están entre 10 a 20 cm. Para el estudio se utilizaron tips de 20cms.

El material vegetativo se cosechó durante las horas más frescas del día, las cuales están entre las 6 y las 9 de la mañana, esto con el fin de disminuir el estrés en las plantas.

Luego de la cosecha, los tips se colocaron y acomodaron cuidadosamente en cajas de cartón para el transporte, teniendo en cuenta el número de unidades por caja para evitar daños en los mismos.

2.7 Enraizador. El enraizador se utilizó para favorecer y acelerar el desarrollo de las raíces luego de la cosecha.

Las actividades realizadas para la evaluación fueron las siguientes:

- Se preparó el sustrato y se trasladó en los recipientes asignados.
- Se remojó el sustrato en agua y luego se procedió a drenar el exceso.
- Se colocó el sustrato en las bandejas.
- Se realizó la siembra de los tips.
- Se aplicó ácido indolacético en concentración de 40% por medio de riego al momento de la siembra del tip.
- Se realizó una evaluación visual de raíces a los quince días
- Se hicieron controles culturales en el cultivo.
- Se evaluó el desarrollo radicular a los treinta días.

Cuando se cumplieron los treinta días, se procedió a hacer un lavado y decantación de la muestra: Se colocó cada tratamiento de la unidad experimental (totalidad de los individuos del tratamiento), en agua por no

menos de una hora, posteriormente, se agitó con una varilla para lograr la ruptura de los agregados y así obtener una adecuada suspensión del sustrato.

2.8 Variables de respuesta

- Longitud radicular: se midió desde la base del tallo hasta el extremo de la raíz más larga, a través de un vernier y una regla convencional.
- Peso radicular fresco (gramos): después de lavar las raíces, se dejaron escurrir y posteriormente se pesaron en balanza analítica.
- Peso radicular seco: (gramos): la muestra se colocó en una funda de papel y se introdujo en el horno por 24 horas a 65°C, luego se pesó en una balanza analítica.
- Contenido de humedad (%): se obtuvo por medio de la diferencia entre el peso radicular fresco y el peso radicular seco, dividido el peso radicular fresco.

Se analizó cada variable de respuesta para determinar si existía significancia estadística entre los diferentes sustratos.

2.9 Análisis estadístico. Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) para cada variable de respuesta, luego una prueba de medias.

2.10 Hipótesis. La hipótesis utilizada para el diseño experimental fue:

Ho: $T_0 = T_1 = T_2 = T_3$

Ninguno de los tratamientos presenta diferencia en el desarrollo radicular.

Ha: $T_0 \neq T_1 \neq T_2 \neq T_3$

Al menos uno de los cuatro tratamientos presenta mejor desarrollo radicular.

2.11 Análisis químico. Se enviaron las muestras al laboratorio para determinar las propiedades químicas del sustrato, una muestra por tratamiento.

VI. RESULTADOS

Cuadro 2. Descripción de tratamientos.

Tratamiento	Descripción de tratamiento
T0	Arena blanca
T1	Fibra de coco y arena blanca
T2	Cachaza y arena blanca
T3	Arena negra y arena blanca

Datos generados por el autor, 2016.

1. RESULTADOS DE DESARROLLO RADICULAR

1.1 Longitud radicular

Cuadro 3. Análisis de varianza de longitud radicular.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	3	205.64	68.55	281.24	< 0.000001
Error	296	72.14	0.24		
Total	299	277.78			

Datos generados por el autor, 2016.

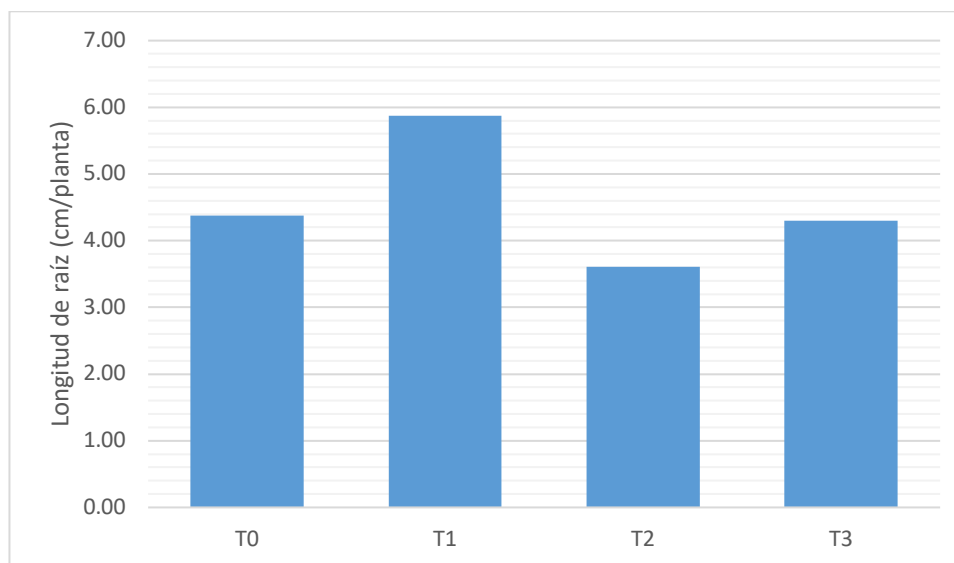
Según el análisis de varianza que se muestra en el Cuadro 3, existe diferencia significativa en los tratamientos evaluados (Valor p < 0.000001). Con el objetivo de identificar el sustrato que propicia la elongación radicular, se procedió a realizar una prueba de medias por medio de la comparación de Tukey, con el 95% de confianza ($\alpha = 0.05$). Los resultados de dicha prueba se muestran en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Prueba de Tukey de longitud radicular (cm).

Tratamiento	N	Media (cm)	Agrupación
T1	75	5.88	A
T0	75	4.37	B
T3	75	4.30	B
T2	75	3.61	C

Datos generados por el autor, 2016.

Gráfica 1. Longitud radicular (cm).



Datos generados por el autor, 2016.

La prueba de Tukey (Cuadro 4) muestra que el tratamiento 1 (fibra de coco y arena blanca) presentó las mejores condiciones para la elongación radicular, con una media de 5.88 cm; el tratamiento 0 (testigo) y tratamiento 3 (arena blanca y negra), estuvieron en el segundo nivel según la agrupación de la prueba, con 4.37 y 4.30 cm respectivamente. El tratamiento 2 (cachaza y arena blanca) se posicionó en el último nivel de la agrupación ya que presentó menor elongación radicular, con una media de 3.61, siendo este resultado aún menor que el testigo.

1.2 Peso radicular fresco

Cuadro 5. Análisis de varianza de peso radicular fresco.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	3	7.165	2.38844	340.99	< 0.000001
Error	296	2.073	0.007		
Total	299	9.239			

Datos generados por el autor, 2016.

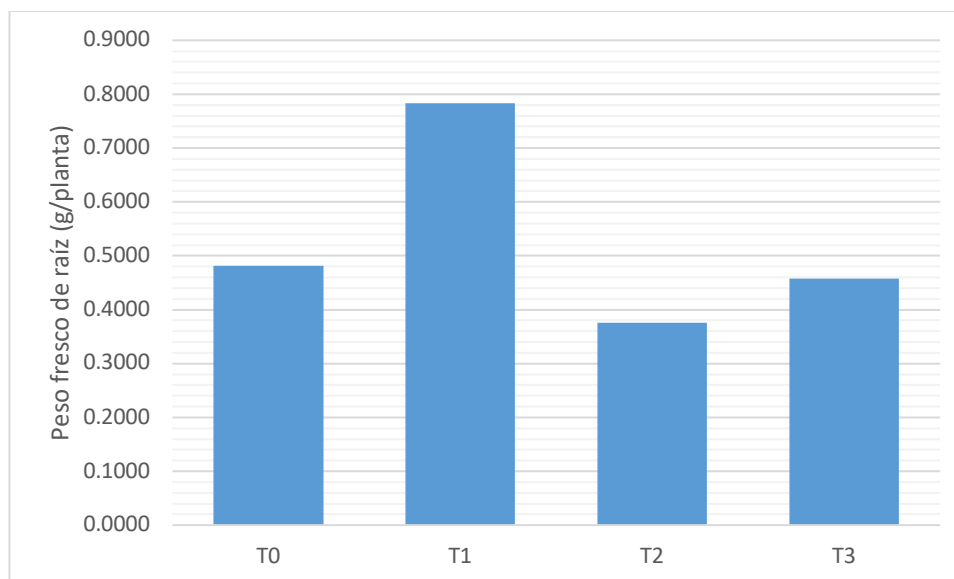
El análisis de varianza del peso radicular fresco evidenció que existe diferencia significativa (Valor p < 0.000001) en al menos un tratamiento de los 4 evaluados. Para identificar el sustrato con las mejores condiciones para propiciar el buen desarrollo radicular, se procedió a realizar una prueba de medias por el método de Tukey, con el 95% de confianza ($\alpha = 0.05$). El resultado de dicha prueba se muestra en el Cuadro 6.

Cuadro 6. Prueba de Tukey de peso radicular fresco (g).

Tratamiento	N	Media (g)	Agrupación
T1	75	0.7834	A
T0	75	0.4817	B
T3	75	0.4578	B
T2	75	0.3753	C

Datos generados por el autor, 2016.

Gráfica 2. Peso fresco radicular (g).



Datos generados por el autor, 2016.

En análisis post-anova realizado, en este caso la prueba de medias por el método Tukey (Cuadro 6), evidenció que el tratamiento 1 (fibra de coco) propicia mejor el desarrollo radicular presentando una media de 0.7834 gramos; los tratamientos 0 (testigo) y 3 (arena blanca y negra), presentaron condiciones diferentes ubicándolos en el segundo nivel de la agrupación con 0.4817 y 0.4578 gr respectivamente. El tratamiento 2 (cachaza y arena blanca), se encontró en el tercer y último nivel de la agrupación ya que la media de ese factor fue 0.3753 gr, diferenciándose estadísticamente del tratamiento testigo.

1.3 Peso radicular seco

Cuadro 7. Análisis de varianza de peso radicular seco.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	3	2.932	0.977296	102.63	< 0.000001
Error	296	2.819	0.009523		
Total	299	5.751			

Datos generados por el autor, 2016.

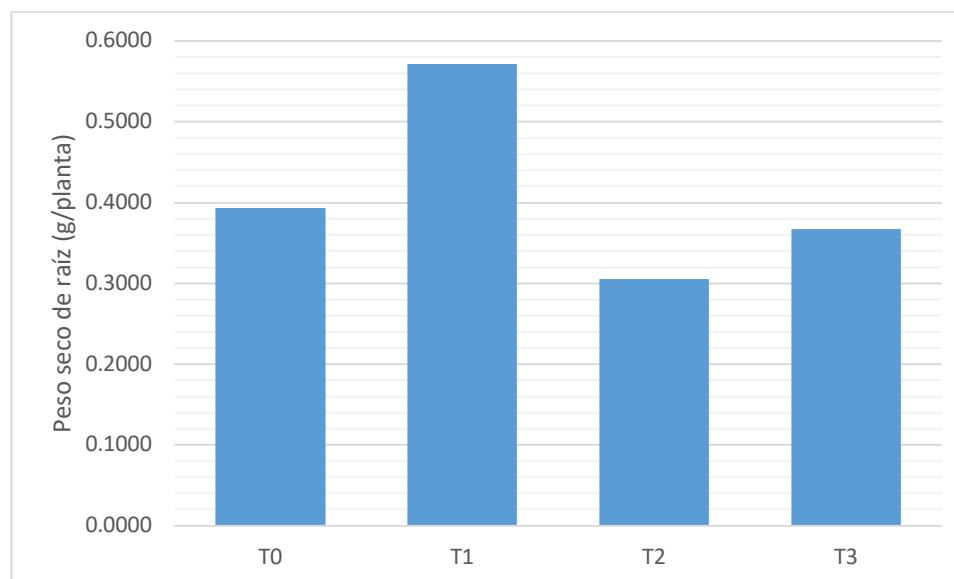
En la variable de peso radicular seco, el análisis de varianza muestra que existe diferencia estadísticamente significativa (Valor p < 0.000001) entre los tratamientos y el testigo evaluados. Se realizó un análisis post-anova para diferenciar los resultados entre tratamientos, para esto se utilizó la prueba de medias a través de la comparación de Tukey, con el 95% de confianza ($\alpha = 0.05$). Esta prueba se detalla a continuación en el Cuadro 8.

Cuadro 8. Prueba de Tukey de peso radicular seco (g).

Tratamiento	N	Media (g)	Agrupación
T1	75	0.5713	A
T0	75	0.3933	B
T3	75	0.3671	B
T2	75	0.3054	C

Datos generados por el autor, 2016.

Gráfica 3. Peso radicular seco (g).



Datos generados por el autor, 2016.

La comparación de medias indicó claramente que el sistema radicular del tratamiento 1 (fibra de coco y arena blanca) contenía más biomasa que los otros tres tratamientos después de someterlos al proceso de secado, presentando una media de 0.5713 gr; el tratamiento testigo (arena blanca) y tratamiento 3 (arena blanca y negra) mostraron que no existe diferencia estadística entre ellos, por lo que se volvieron a ubicar en el segundo nivel de la agrupación, con 0.3900 y 0.3671 gr, respectivamente; en cuanto al tratamiento 2 (cachaza y arena negra), se posicionó en el tercer nivel mostrando menos biomasa que el testigo con 0.3054 gr.

1.4 Contenido de humedad

Cuadro 9. Análisis de varianza de porcentaje de humedad.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	3	0.3111	0.10372	8.25	0.000027
Error	296	3.7222	0.01258		
Total	299	4.0334			

Datos generados por el autor, 2016.

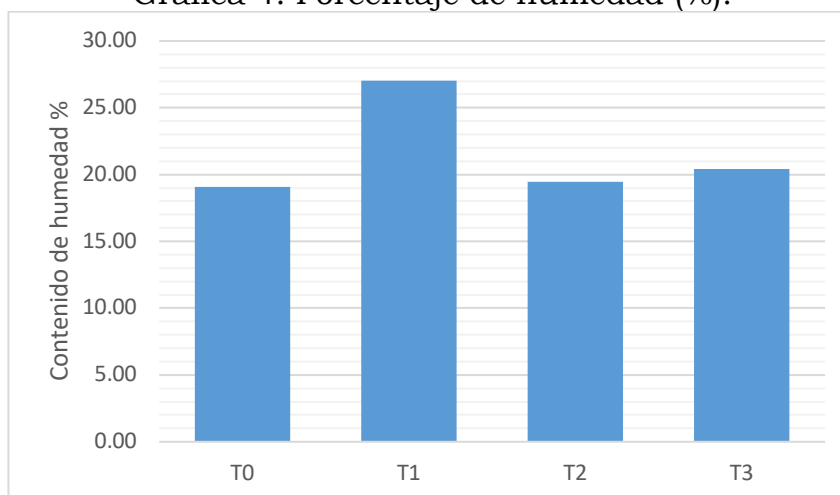
Siguiendo la pérdida de humedad en el sistema radicular de *Codiaeum variegatum*, se evidenció estadísticamente (Valor p <0.000027) por medio del análisis de varianza que al menos uno de los cuatro tratamientos evaluados favoreció la absorción de agua, y, por lo tanto, la pérdida de la misma después del proceso de secado. Para determinar cuál de los 4 tratamientos marcó esta diferencia se realizó una prueba de medias con el método de Tukey, con el 95% de confianza ($\alpha = 0.05$). Esta prueba se muestra en el Cuadro 10.

Cuadro 10. Prueba de Tukey de porcentaje de humedad (%).

Tratamiento	N	Media (%)	Agrupación
T1	75	27.01	A
T3	75	20.41	B
T2	75	19.48	B
T0	75	19.08	B

Datos generados por el autor, 2016.

Gráfica 4. Porcentaje de humedad (%).



Datos generados por el autor, 2016.

La prueba de medias a través de la comparación de Tukey, evidencia estadísticamente que el tratamiento 1 (fibra de coco y arena blanca), con una media de 27.01%, presenta mayor pérdida de humedad que los otros tres sustratos posicionándose en el primer nivel de la agrupación; el tratamiento 0 (testigo), tratamiento 2 (cachaza y arena blanca) y tratamiento 3 (arena blanca y negra) no mostraron diferencia estadística en el % de pérdida de humedad, por lo que se encontraron en el segundo nivel de la agrupación.

2. ANÁLISIS QUÍMICO

Se analizaron los sustratos en los laboratorios de Cengicaña y Soluciones Analíticas. El resultado se muestra en el siguiente cuadro:

Cuadro 11. Análisis químico de los cuatro sustratos.

COMPONENTE	T0	T1	T2	T3
pH	7.40	6.40	5.80	6.80
N (%)	0.15	1.40	1.83	0.26
P (%)	0.56	0.19	0.31	0.35
K (%)	0.07	1.07	0.23	0.11
Ca (%)	8.10	0.26	1.68	1.40
Mg (%)	1.00	0.25	0.16	0.15
B (ppm)	0.30	8.25	96.90	4.20
Cu (ppm)	1.40	9.60	23.95	0.53
Fe (ppm)	5.20	2279.50	7353.68	1.82
Mn (ppm)	4.10	55.40	255.64	3.10
Zn (ppm)	4.80	22.05	85.65	0.65

Laboratorio Cengicaña y Soluciones Analíticas, 2016.

Según lo observado en los resultados, el tratamiento testigo tuvo un pH de 7.40, por lo cual se le considera neutro ligeramente alcalino; el tratamiento 2 (cachaza y arena blanca) tuvo un pH ácido, correspondiente a 5.80. Existen diferencias bien marcadas entre los cuatro tratamientos. El tratamiento 0 (testigo) posee alto contenido de calcio en comparación con los tratamientos restantes.

3. COSTOS DEL EXPERIMENTO

3.1 Plantas para el experimento. Se designaron 75 unidades para cada tratamiento de *Codiaeum variegatum*. El precio por unidad de las variedades de color amarillo es de \$ 0.04, al momento de la adquisición, el dólar estaba a un cambio de Q.7.58.

Cuadro 12. Costo total de 75 tips por tratamiento.

Tratamientos	COSTO TOTAL	No. TIPS
T0	Q 22.74	75
T1	Q 22.74	75
T2	Q 22.74	75
T3	Q 22.74	75

Datos generados por el autor, 2016.

El cuadro anterior muestra el precio total de tips para cada tratamiento al principio del experimento, haciendo la conversión a quetzales, cada tip tuvo un precio aproximado de Q.0.30.

3.2 Porcentaje de mortandad. Al finalizar el tratamiento se contabilizó el total de tips para obtener el porcentaje de mortandad.

Cuadro 13. Porcentaje de mortandad en cada tratamiento.

Tratamientos	Tips	% Mortandad
T0	8	10.67%
T1	8	10.67%
T2	9	12.00%
T3	7	9.33%

Datos generados por el autor, 2016.

El tratamiento 3 obtuvo 9.33% de plantas muertas, equivalentes a 7 unidades; el tratamiento testigo tuvo un 10.67% de mortandad, equivalentes a 8 unidades.

3.3 Costo-Beneficio. El análisis de costo-beneficio se hizo con base en los costos que se cubrieron en el experimento, solo se tomaron en cuenta los insumos utilizados, la mano de obra se excluyó del mismo.

Cuadro 14. Análisis de costo-beneficio.

CONCEPTO	UNIDAD DE MEDIDA	T0	T1	T2	T3
Tip	Unidad	Q 22.74	Q 22.74	Q 22.74	Q 22.74
Sustrato	Kg	Q 4.00	Q 12.00	Q 4.00	Q 5.00
Bandejas	Unidad	Q 12.50	Q 12.50	Q 12.50	Q 12.50
Enraizador	Kg	Q 4.00	Q 4.00	Q 4.00	Q 4.00
	COSTO TOTAL	Q 43.24	Q 51.24	Q 43.24	Q 44.24
Tip encallado	Unidad	Q 4.55	Q 1.52	Q 7.58	Q 3.03
Tip con raíz	Unidad	Q 69.36	Q 73.91	Q 63.67	Q 72.77
	INGRESO BRUTO	Q 73.91	Q 75.42	Q 71.25	Q 75.80
	INGRESO NETO	Q 30.67	Q 24.18	Q 28.01	Q 31.56
	RENTABILIDAD	70.92%	47.19%	64.78%	71.34%

Datos generados por el autor, 2016.

Siguiendo el resultado del análisis anterior, se puede observar que el tratamiento 3 presentó la mejor relación costo-beneficio, siendo más rentable que el tratamiento testigo. El tratamiento que presentó menor rentabilidad, fue el 1, el cual corresponde a la fibra de coco y arena blanca.

VII. ANÁLISIS DE RESULTADOS

1. DESARROLLO RADICULAR

1.1 Longitud radicular. El análisis de varianza evidenció que existe diferencia significativa en al menos uno de los cuatro tratamientos, por lo tanto, se procedió a realizar una prueba de Tukey para diferenciar el efecto de los cuatro tratamientos. El tratamiento 2, que está compuesto por fibra de coco y arena blanca, favoreció notablemente la elongación de las raíces ya que se tuvo como media 5.88 cm de longitud, estando 34.55 % (1.51 cm) por arriba del tratamiento testigo (arena blanca); 36.74 % (1.58 cm) arriba del tratamiento 3 (arena blanca y negra); y 62.88 % (2.27 cm) arriba del tratamiento 2 (cachaza y arena blanca). Estos datos evidencian que el tratamiento 1, es la mejor combinación para propiciar la elongación radicular. Estadísticamente, el tratamiento 1 tuvo mayor elongación radicular; el tratamiento 0 y tratamiento 3 estuvieron en el mismo nivel; y el tratamiento 2 presentó la menor longitud.

1.2 Peso radicular fresco. Debido a que el valor P del análisis de varianza fue menor a 0.000001, existía una fuerte evidencia estadística de que al menos un tratamiento favoreció la turgencia de las raíces. La prueba de medias con el método de Tukey mostró que, nuevamente, el tratamiento 1 propició las mejores condiciones, ya que con una media de 0.7834 gramos, estuvo 62.63 % (0.3017 g) arriba que el tratamiento testigo; 71.12 % (0.3256 g) arriba que el tratamiento 3 y 108.74 % (0.4031 g) arriba del tratamiento 2. Según los resultados, el tratamiento 1 presenta las raíces más turgentes. Según la agrupación de Tukey, el tratamiento 1 tuvo la mayor turgencia; el tratamiento 0 y 3 tuvieron la misma turgencia estadísticamente; y el tratamiento 2, fue el que se ubicó en último lugar.

1.3 Peso radicular seco. El análisis de varianza realizado nuevamente mostró una diferencia significativa, sugiriendo que al menos uno de los cuatro tratamientos evaluados es diferente a los demás, por lo que se procedió a realizar una prueba de Tukey para diferenciar los resultados. La prueba de medias evidenció que el tratamiento que presentó mayor biomasa fue el 1, el cual está compuesto por fibra de coco y arena blanca, obtuvo en promedio 0.5713 gramos, teniendo un 45.26 % (0.1780 g) más de biomasa que el tratamiento testigo; 55.63 % (0.2042 g) más que el tratamiento 3 y 87.07 % (0.2659 g) más que el tratamiento 2. En cuanto a la agrupación de dicha prueba, el tratamiento 1 tuvo mayor biomasa; el tratamiento 0 y 3 presentaron la misma biomasa (en términos estadísticos); y el tratamiento 2 se posicionó nuevamente en el último lugar.

1.4 Contenido de humedad. El análisis de varianza mostró nuevamente fuerte evidencia estadística la cual afirmaba que al menos un tratamiento de los cuatro tuvo más pérdida de humedad, para definir dicho tratamiento se realizó una prueba de Tukey. La prueba de Tukey ubicó al tratamiento 1 en el primer lugar con una media de 27.01 %; el tratamiento 3 lo siguió con un 20.41 % de pérdida; luego el tratamiento 2 con 19.48 %; y el tratamiento testigo con 19.08 %. Estadísticamente, el tratamiento 1 tuvo mayor pérdida de humedad, los tratamientos restantes tuvieron la misma pérdida.

2. COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LOS SUSTRATOS

Los cuatro tratamientos presentaron diferencia entre sí en el contenido de macronutrientes y micronutrientes

El sustrato que tuvo mayor porcentaje de nitrógeno (N) fue el compuesto por la cachaza y arena blanca (2), con 1.83; seguido del tratamiento compuesto por fibra de coco y arena blanca, con 1.4 %. Este nutriente es crítico para el desarrollo de la raíz.

Junto con el nitrógeno, la presencia de fósforo (P) en los sustratos es fundamental para el desarrollo radicular. Con valores de 0.31 % para el tratamiento 2 y 0.56 % para el tratamiento testigo, la cantidad de este nutriente considera como deficiente, ya que fue menor al 7 %.

El contenido de calcio (Ca) en los sustratos favorece la división celular. El sustrato con mayor porcentaje de este nutriente fue el testigo (arena blanca), el cual tuvo 8.10 %. En cuanto al magnesio, nuevamente el tratamiento testigo fue el que tuvo mayor porcentaje en su contenido, con un 1.00 %.

En general, el tratamiento 2 presentó un mayor contenido de nutrientes que pudiese haber contribuido al desarrollo radicular y del tip como tal, sin embargo, el pH ácido (5.80) del mismo está por debajo del mínimo que requiere el cultivo (6). Razón por la cual el crecimiento de las raíces se vio afectado negativamente.

3. COSTO BENEFICIO

Los cuatro tratamientos presentan alta rentabilidad según el ingreso neto obtenido por cada uno. El tratamiento 3 obtuvo el primer lugar con una rentabilidad de 71.34 % (Q30.57 ingreso neto), debido a que tuvo una mortandad de 9.33 % (7 tips); el tratamiento testigo fue altamente rentable,

ocupando el segundo lugar con el 70.92 % (Q24.18) de rentabilidad debido a que el 10.67 % (8 tips) no estuvo apto para la venta; el tratamiento 2, se posicionó como el tercero con una rentabilidad del 64.78 % (Q28.01), esto debido a que el 12.00 % (9 tips) no fuere viable para la comercialización; el tratamiento que tuvo menor ganancia económica fue el compuesto por la fibra de coco y arena blanca, a pesar de que obtuvo un porcentaje de mortandad similar al tratamiento testigo (10.77 %), este tuvo una rentabilidad de 47.19 % (Q24.18) debido al precio de la fibra de coco.

VIII. CONCLUSIONES

El sustrato que presentó mejor desarrollo radicular en general, tomando en cuenta la longitud, peso fresco, peso seco y contenido de humedad, fue el tratamiento 1 el cual está compuesto por fibra de coco y arena blanca.

Los cuatro tratamientos mostraron contenidos diferentes de nutrientes de acuerdo a los análisis de laboratorio, sin embargo, estos fueron en pocas cantidades. El desarrollo radicular se vio favorecido por las características físicas que presenta cada uno de los diferentes sustratos. Nuevamente, el que mejor características presentó, basándose en el desarrollo radicular, fue el tratamiento 1 compuesto por fibra de coco y arena blanca.

De acuerdo al análisis de costos, el sustrato que tuvo mayor rentabilidad fue el compuesto por arena blanca y negra (tratamiento 3), ya que dicho sustrato es fácil de conseguir y su precio en el mercado es accesible. Es importante tener en cuenta que lo que se busca es la producción de raíces y no se tiene una longitud mínima para que los tips sean aptos para la venta, por lo que el desarrollo radicular obtenido con este tratamiento es ideal para la comercialización.

A pesar que el tratamiento 3 (arena blanca y negra) fue el más rentable, la frecuencia e intensidad del riego fue mayor que la del tratamiento que presentó mayor desarrollo radicular (fibra de coco y arena blanca). El riego no se tomó en cuenta para calcular la rentabilidad ya que se hizo en las instalaciones de la Universidad del Valle de Guatemala, sin embargo, hay que tener especial cuidado con el mismo ya que puede incrementar los costos de producción.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abad-Berjon M; Noguera-Murray P, Carrión-Benedito C. 2004. *Los sustratos en los cultivos sin suelo*. Cultivo sin suelo. Madrid: Ediciones de Agricultura. 158 págs.
- Alarcón AL. 2000. *Tecnología para cultivos de alto rendimiento*. 1era ed. España: Novedades Agrícolas. 459 págs.
- Burés, Silvia. 1997. *Sustratos*. 1ra ed. Madrid: Ediciones Agrotécnicas. 342 págs.
- Pire, Reinaldo; Pereira, Aracelys. Bioagro, 2003. *Propiedades físicas de componentes de sustratos de uso común en la horticultura del estado Lara, Venezuela*. http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-33612003000100007 [06 de junio de 2016]
- Chacón, Sofía. 2013. *Holanda, Japón y México mercados con futuro para las plantas ornamentales guatemaltecas*. <http://agexporthoy.export.com.gt/> [20 de febrero de 2015]
- Fuentes, J. 1999. *El suelo y los fertilizantes*. Madrid: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. 352 págs.
- Kämpf AN; Jun Takane R, Vital de Siqueira, PT. 2006. *Floricultura, Técnicas de preparo de sustratos*. Brasilia: LK editora. 132 págs.
- Llurba, M. 1997. <<Parámetros a tener en cuenta en los sustratos>>. *Revista de Hortalizas*. (125): 30-36.
- National Tropical Botanical Garden. 2010. *Codiaeum variegatum*. <http://ntbg.org> [20 de febrero de 2015]
- Nuez, F. 2001. *El cultivo de tomate*. 1era ed. Madrid: Mundi-Prensa. 793 págs.
- Pire, Reinaldo; Pereira, Aracely. 2003. <<Propiedades físicas de componentes de sustratos de uso común en la horticultura del estado Lara, Venezuela>>. *Bioagro*. (60) 15-19.

Reckmann, Oscar. 2011. *Fibra de Coco, un sustrato con grandes ventajas*. <http://www.redgricola.com> [23 de febrero de 2015]

Organismo Internacional Regional de Sanidad Agropecuaria-OIRSA. 2002. *Producción de sustratos para viveros*. Proyecto Regional de Fortalecimiento de la Vigilancia Fitosanitaria en Cultivos de Exportación no Tradicionales-VINIFEX. Costa Rica. 50 págs.

Terés, V.; Artetxe A, Beunza A. 1997. <<Caracterización física de los sustratos de cultivo>>. *Revista Horticultura*. (125): 24-28.