

UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS
LICENCIATURA EN CIENCIAS HORTÍCOLAS

EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DE CULTIVARES DE YUCA BIOFORTIFICADA; SANTA ROSALÍA, ZACAPA
TESIS DE GRADO

JOSUÉ WALDEMAR OLIVA ALVARADO
CARNET 20641-10

ZACAPA, NOVIEMBRE DE 2017
CAMPUS "SAN LUIS GONZAGA, S. J" DE ZACAPA

UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS
LICENCIATURA EN CIENCIAS HORTÍCOLAS

EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DE CULTIVARES DE YUCA BIOFORTIFICADA; SANTA ROSALÍA, ZACAPA
TESIS DE GRADO

TRABAJO PRESENTADO AL CONSEJO DE LA FACULTAD DE
CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS

POR
JOSUÉ WALDEMAR OLIVA ALVARADO

PREVIO A CONFERÍRSELE
EL TÍTULO DE INGENIERO AGRÓNOMO EN EL GRADO ACADÉMICO DE LICENCIADO EN CIENCIAS HORTÍCOLAS

ZACAPA, NOVIEMBRE DE 2017
CAMPUS "SAN LUIS GONZAGA, S. J" DE ZACAPA

AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR

RECTOR: P. MARCO TULIO MARTINEZ SALAZAR, S. J.
VICERRECTORA ACADÉMICA: DRA. MARTA LUCRECIA MÉNDEZ GONZÁLEZ DE PENEDO
VICERRECTOR DE INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN: ING. JOSÉ JUVENTINO GÁLVEZ RUANO
VICERRECTOR DE INTEGRACIÓN UNIVERSITARIA: P. JULIO ENRIQUE MOREIRA CHAVARRÍA, S. J.
VICERRECTOR ADMINISTRATIVO: LIC. ARIEL RIVERA IRÍAS
SECRETARIA GENERAL: LIC. FABIOLA DE LA LUZ PADILLA BELTRANENA DE LORENZANA

AUTORIDADES DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS

DECANA: LIC. ANNA CRISTINA BAILEY HERNÁNDEZ
SECRETARIO: MGTR. LUIS MOISES PEÑATE MUNGUÍA
DIRECTOR DE CARRERA: MGTR. JOSÉ MANUEL BENAVENTE MEJÍA

NOMBRE DEL ASESOR DE TRABAJO DE GRADUACIÓN

LIC. LUIS MIGUEL SALGUERO MORALES

TERNA QUE PRACTICÓ LA EVALUACIÓN

MGTR. JOSÉ MANUEL BENAVENTE MEJÍA
ING. HARRY FLORENCIO DE MATA MENDIZABAL
ING. SERGIO ALEJANDRO MANSILLA JIMÉNEZ

Guatemala 30 de noviembre de 2017.

Consejo de Faculta
Ciencias Ambientales y Agrícolas
Presente

Estimados Miembros del Consejo:

Por este medio hago constar que he asesorado el trabajo de graduación del estudiante Josué Waldemar Oliva Alvarado, carné 20641-10, titulado: "Evaluación del rendimiento de cultivares de yuca biofortificada; Santa Rosalía, Zacapa."

La cual considero que cumple con los requisitos establecidos por la Facultad, previo a su autorización de impresión.

Atentamente,



Ing. Agr. Luis Miguel Salguero Morales
Colegiado No. 5549
Código 25483



Orden de Impresión

De acuerdo a la aprobación de la Evaluación del Trabajo de Graduación en la variante Tesis de Grado del estudiante JOSUÉ WALDEMAR OLIVA ALVARADO, Carnet 20641-10 en la carrera LICENCIATURA EN CIENCIAS HORTÍCOLAS, del Campus de Zacapa, que consta en el Acta No. 06172-2017 de fecha 10 de noviembre de 2017, se autoriza la impresión digital del trabajo titulado:

EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DE CULTIVARES DE YUCA BIOFORTIFICADA; SANTA ROSALÍA, ZACAPA

Previo a conferírsele el título de INGENIERO AGRÓNOMO en el grado académico de LICENCIADO EN CIENCIAS HORTÍCOLAS.

Dado en la ciudad de Guatemala de la Asunción, a los 20 días del mes de noviembre del año 2017.



MGTR. LUIS MOISES PEÑATE MUNGUÍA, SECRETARIO
CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS
Universidad Rafael Landívar

AGRADECIMIENTOS

A:

Dios que nos permite vivir cada día y nos da la oportunidad de alcanzar nuestros sueños y metas.

Familia por su gran apoyo y motivación, para seguir adelante.

La Universidad Rafael Landívar, Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas por ser parte de mi formación.

ICTA por permitirme ser parte de sus procesos de investigación.

Ing. Luis Miguel Salguero Morales, por su asesoría y apoyo técnico en el desarrollo del presente trabajo de investigación.

Compañeros de estudio quienes siempre me apoyaron en el proceso de mi formación académica.

DEDICATORIA

A:

Dios: Creador de todo, quien nos da la vida y que su buena voluntad es agradable y perfecta para con nosotros, dándonos el regalo más grande a través de su hijo Jesús, la salvación de nuestras almas.

Familia: Quienes por su inmenso amor, por su tiempo, y sus consejos oportunos, son ejemplo para seguir adelante.

Amigos: Quienes siempre desearon que alcanzara las metas establecidas y me brindaron su apoyo.

INDICE

RESUMEN	i
1 INTRODUCCION	1
2 MARCO TEORICO	2
2.1 Cultivo de Yuca	2
2.1.1 Origen	2
2.1.2 Taxonomía	2
2.1.3 Morfología	3
2.1.4 Propagación	6
2.1.5 Requerimientos edafoclimáticos	6
2.2 Inseguridad Alimentaria	7
2.2.1 Importancia de los micronutrientes	8
2.3 La Biofortificación	9
2.3.1 Que son los cultivos biofortificados	10
2.3.2 Biofortificación de la yuca	11
2.3.3 Como mejoran la seguridad alimentaria y nutricional	11
2.4 Cultivo de yuca en Guatemala	12
2.4.1 Yuca biofortificada	12
3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	14
3.1 Definición del problema y justificación del trabajo	14
4 OBJETIVOS	15
4.1 Objetivo general	15
4.2 Objetivos específicos	15
5 HIPÓTESIS	16
5.1 Hipótesis alterna	16
6 METODOLOGÍA	17
6.1 Localización del trabajo	17
6.2 Material experimental	17
6.3 Factores a estudiar	17
6.4 Descripción de los tratamientos	17
6.5 Diseño experimental	18

6.6	Modelo estadístico	18
6.7	Unidad experimental	19
6.8	Croquis de campo	19
6.9	Manejo del experimento	20
6.9.1	Preparación del Suelo	20
6.9.2	Trazo de los Tratamientos	20
6.9.3	Siembra	20
6.9.4	Control de Maleza	20
6.9.5	Nutrición	21
6.9.6	Control de plagas y enfermedades	21
6.10	VARIABLES DE RESPUESTA	21
6.11	Análisis de la información	22
6.11.1	Análisis estadístico	22
6.11.2	Análisis económico	22
7	RESULTADOS Y DISCUSION	23
7.1	Rendimiento de yuca biofortificada	23
7.2	Calidad Nutricional	25
8	CONCLUSIONES	28
9	RECOMENDACIONES	29
10	REFERENCIA BIBLIOGRAFICA	30
11	ANEXO	33

INDICE DE CUADROS

CONTENIDO	PÁGINA
Cuadro 1. Clasificación taxonómica de la yuca	3
Cuadro 2. Descripción de los Tratamientos	18
Cuadro 3. Croquis de campo y distribución de los tratamientos	19
Cuadro 4. Rendimiento en t/ha de los cinco cultivares de yuca biofortificada, Santa Rosalía, Zacapa, 2017.	23
Cuadro 5. Análisis de varianza para la variable rendimiento (t/ha) de los cultivares de yuca biofortificada, Santa Rosalía, Zacapa, 2017.	23
Cuadro 6. Prueba de separación de medias del rendimiento de los cultivares de yuca biofortificada, Santa Rosalía, Zacapa, 2017.	24

INDICE DE FIGURAS

CONTENIDO	PÁGINA
Figura 1 Ejemplo de fitomejoramiento convencional.	10
Figura 3 Contenido de β -carotenos, Hierro y Zinc en mg/100g de los cultivares de yuca biofortificada, Santa Rosalía, Zacapa, 2017.	25
Figura 4 Aporte nutricional (β -carotenos, Hierro y Zinc) en base al rendimiento obtenido de los cultivares de yuca biofortificada.	26

EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DE CULTIVARES DE YUCA BIOFORTIFICADA; SANTA ROSALÍA, ZACAPA.

RESUMEN

El objetivo del estudio fue evaluar cinco cultivares de yuca biofortificadas provenientes del CIAT, introducidos al país por el Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas (ICTA) para determinar su rendimiento y calidad nutricional. La investigación se llevó a cabo en la aldea Santa Rosalía, Zacapa. Los materiales evaluados fueron: CM 2086-16, CM 3750-5, CM 6119-5, CM 6129-2 y SM 734-5. El diseño experimental utilizado fue bloques completos al azar (DBCA), con cuatro repeticiones y cinco tratamientos. Los resultados mostraron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos y la formación de tres grupos estadísticos, el primero formado por el cultivar SM 734-5 con el mayor rendimiento, con una media de 50.82 t/ha. El segundo consiste en los cultivares CM 6129-2, CM 6119-5, CM 3750-5 con una media de 39.95 t/ha y el último grupo formado por el cultivar CM 2086-16 con una media de 34.34 t/ha. En cuanto a la calidad nutricional tomando en cuenta principalmente el aporte de vitamina A (β -caroteno) fueron los cultivares CM 2086-16 y CM 6129-2, los que mayor aportan nutricionalmente. El cultivar CM 2086-16 obtuvo más alto nivel de β -caroteno 0.291mg/100g de raíz, dando un aporte de 0.100 kg/ha, seguido por el cultivar CM 6129-2 con un contenido de 0.181mg/100g de raíz, y un aporte de 0.077 Kg/ha. El aporte hierro y zinc para el cultivar CM6129-2 es de 0.310 y 0.145 kg/ha respectivamente, mayor que el cultivar CM 2086-16 el cual obtuvo un aporte de 0.23 kg de hierro y 0.04 kg de zinc por hectárea.

1. INTRODUCCION

Guatemala es un país muy afectado por el cambio climático, viéndose reflejado esto en la falta de seguridad alimentaria y nutricional. La zona oriental del país ha sido afectada por tal situación, siendo los agricultores de escasos recursos los que presentan mayor problema de inseguridad alimentaria, lo que ha provocado poca disponibilidad de alimentos y de nutrientes esenciales (USAID, 2009). Por lo que precisa optar sistemas de producción que permita la diversificación de la dieta alimenticia. Esto conlleva a la búsqueda de nuevas alternativas o fuentes de alimentación que complementen y compensen la escases de vitaminas y nutrientes necesarios para el desarrollo adecuado de las poblaciones afectadas.

Según el Centro de Agricultura Tropical – CIAT - (2002), la yuca junto con el maíz, la caña de azúcar y el arroz, constituyen las fuentes de energía más importantes en las regiones tropicales del mundo. Este cultivo además del valor económico que brinda, ofrece otras ventajas: tolerancia a la sequía, capacidad de producir en suelos degradados, resistencia a plagas y enfermedades, tolerancia a suelos ácidos.

El Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas –ICTA-, introduce al país cultivares de yuca biofortificados (*Manihot esculenta Crantz*) con alto contenido de b-caroteno (precursor de la vitamina A), provenientes del CIAT, como alternativa para obtener un alimento con importantes fuentes de nutrientes que juegue un papel muy importante en el fortalecimiento de la seguridad alimentaria. Según Peñuela (2011) la biofortificación de los cultivos es una estrategia relativamente nueva, que permite aumentar el contenido de nutrientes en los alimentos siendo una alternativa sostenible.

Por tal razón es necesario adentrarse en el estudio de cultivares de yuca mejoradas (biofortificadas), las cuales presentan mejoras agronómicas y nutricionales con el objetivo de generar y validar tecnología que ofrezca al agricultor regional guatemalteco de infra y subsistencia, una opción para mejorar la dieta alimenticia, fortaleciendo así su seguridad alimentaria y nutricional.

2. MARCO TEORICO

2.1. CULTIVO DE YUCA (*Manihot esculenta* Crantz)

La yuca o mandioca, junto con el maíz, caña de azúcar y el arroz constituye una fuente importante de energía, su cultivo se ha extendido a lo largo de los trópicos y subtropical del continente americano, esta planta de yuca se cultiva por sus tubérculos comestibles y por su gran fuente de almidón.

2.1.1. Origen

La yuca es una especie de origen americano. Se reconoce a Sur de América como el centro de origen de la yuca (Olsen y Schaal, 2001, citado por Ceballos, 2002). Este cultivo se ha extendido desde Venezuela y Colombia hasta el Noroeste de Brasil, con predominio de los tipos de yuca dulce en el norte y en la zona de Brasil los amargos.

Las especies silvestres del género *Manihot* tienen distintos centros de origen, ya que las primeras poblaciones de este cultivo se dieron primariamente en el centro oeste del Brasil, en el este del Perú, México, Guatemala, y el norte de Colombia. Todas las poblaciones de esta especie se encuentran referidas como *M. esculenta* subsp. *flabellifolia* (Allem, 1994; 1992, citado por Marín, 2008).

2.1.2. Taxonomía

Según CIAT (2002), la yuca pertenece a la familia Euphorbiaceae, constituida por unas 7200 especies que se caracterizan por su notable desarrollo de los vasos laticíferos. Dentro de la familia se encuentran plantas de porte muy diferente: árboles, arbustos, hierbas y de diversa importancia económica. El género más importante de esta familia es *Manihot* de los cuales se han descrito unas 98 especies, pero solo *Manihot esculenta* tiene importancia económica y es cultivada.

En 1766 fue dado el nombre científico al cultivo de yuca por Crantz, posteriormente fue reclasificada por Phol en 1910 en dos especies diferentes, yuca amarga *Manihot utilissima* y yuca dulce *Manihot aipi*. Pero en 1938 Ciferri reconoció el trabajo originalmente realizado por Crantz el cual se propone el nombre actualmente utilizado (Aristizabal y Sanchez, 2007).

Cuadro 1. Clasificación taxonómica de la yuca.

Taxón	Clasificación
Reino	Plantae
Subreino	Viridiplantae
Superdivisión	Embryophyta
División	Tracheophyta
Subdivisión	Espermatofitas
Clase	Magnoliopsida
Subclase	Rosanae
Orden	Malpighiales
Familia	Euphorbiaceae
Género	Manihot
Especie	Esculenta Crantz
Nombre científico	Manihot esculenta Crantz.

(SIIT, 2016).

2.1.3. Morfología

La yuca es una planta monoica, de ramificación simpodial y porte arbustivo, perenne. Según el cultivar y las condiciones ecológicas, su altura varía de 1 a 5 metros, siendo más común encontrar plantas entre 1 y 3 metros (CIAT, 2002).

a. El tallo

Los tallos son particularmente importantes en la yuca, pues son el medio que se utiliza para la multiplicación vegetativa o asexual de la especie. El tallo maduro es cilíndrico y su diámetro varía de 2 a 6 cm. Se pueden observar tres colores básicos de tallo maduro: gris-plateado, morado y amarillo verdoso. Los tallos están formados por la alternación de nudos y entrenudos. En las partes más viejas del tallo se observan

algunas protuberancias que marcan en los nudos la posición que ocuparon inicialmente las hojas. (Ceballos, 2002).

El tallo produce dos tipos de ramificaciones: las ramificaciones reproductoras y las ramificaciones laterales. De estos dos tipos de ramificaciones, la ramificación reproductora constituye el carácter varietal más estable.

b. Hojas

La yuca está conformada por hojas simples y estas están compuestas por lámina foliar y el pecíolo. La lámina foliar es palmeada y profundamente lobulada teniendo entre 3 y 9 lóbulos. Estos miden entre 4 y 20 cm. de longitud y entre 1 a 6 cm de ancho; los centrales son de mayor tamaño que los laterales. Según el cultivar, las hojas maduras son de diferentes colores; morado, verde oscuro y verde claro, son los colores básicos. El tamaño de la hoja es una característica típica de cada cultivar, aunque depende mucho de las condiciones ambientales. Las hojas producidas en los primeros 3-4 meses de vida de la planta son más grandes que las producidas luego del cuarto mes. El haz de la hoja está cubierto por una cutícula cerosa brillante, mientras que el envés es opaco y en él se encuentran localizadas la mayoría de estomas, aunque algunas variedades también presentan abundantes estomas en el haz (CIAT, 2002).

c. Flor

Las flores de la yuca se producen en inflorescencias, la estructura básica del arreglo de las flores es el racimo o panícula, en el que las flores femeninas ocupan las posiciones basales y las masculinas las distales. Es frecuente que también se produzcan panículas que desde el punto de vista botánico puede definirse como racimo de racimos.

La yuca es una planta monoica con gran cantidad de flores femeninas cerca de la base y pequeñas flores masculinas cerca del extremo de la panícula. Ambas flores tienen 5 tepalos unidos, el color puede ser amarillo o rojo. La flor masculina tiene 10 estambres arreglados en dos círculos de 5 estambres cada uno; los filamentos están libres y las anteras son pequeñas con 200 a 300 granos de polen por antera. La flor femenina tiene

un ovario montado sobre un disco glandular de 10 lóbulos, el estigma tiene 3 lóbulos los cuales se unen y forman el estilo (Villamayor, 1986 citado por Marín, 2008)

d. Fruto

Una vez que la flor femenina ha sido polinizada, comienza la formación del fruto a partir del ovario, la maduración del fruto requiere entre tres y cinco meses para ser completada. El fruto es una cápsula dehiscente y trilobular de forma ovoide o globular, de 1 a 1.5 cm de diámetro, con 6 aristas longitudinales, estrechas y prominentes.

Al madurar la semilla, el epicarpo y el mesocarpo, se secan. El edocarpo que es de consistencia leñosa, se abre bruscamente cuando el fruto está maduro y seco, para liberar y dispersar, a cierta distancia las semillas (Ceballos, 2002).

e. Semilla

Esta es de forma ovoide-elipsoidal y mide alrededor de 1 cm de largo, 6 mm de ancho y 4 mm de espesor. La testa es lisa, de color café con moteado gris.

La semilla no es importante en reproducción y multiplicación habitual, pero tiene un incalculable valor para el Fito mejoramiento, pues es a través de la reproducción sexual que puede producir nuevos cultivares genéticamente superiores (CIAT 2002).

f. Raíz

Al principio las raíces de la yuca son fibrosas, por medio del cual absorbe agua y nutrientes, tiempo después una parte de ella se vuelven raíces tuberosas, debido a la acumulación de almidón, este tipo de raíz es morfológicamente y anatómicamente iguales a las raíces fibrosas, lo que hace la diferencia es el cambio de dirección del crecimiento de longitud a radial (Suarez y Mederos, 2011).

Una raíz de yuca madura puede almacenar de 15 a 100 cm y en peso de 0.25 kg. a 5.0 kg., las raíces maduras son predominantemente de color café y de superficie áspera, la cascara tiene de 1 a 4 mm de grosor y está compuesta de epidermis, una subepidermis (blanca o rosada) y una capa interior que separa la pulpa (Villamayor, 1986 citado por Marín, 2008). La pulpa está compuesta de parénquima, la cual comprende

aproximadamente el 85% del peso total de la raíz, contiene además vasos de xilema radialmente distribuidos en una matriz de células almacenadoras de almidón.

2.1.4. Propagación

La yuca puede propagarse por medio de estacas o semilla sexual. En todas las siembras comerciales se usan estacas, pero la propagación por semilla es importante para programas de mejoramiento.

Para asegurar altos rendimientos en una plantación de yuca es importante contar con “buena semilla”; que básicamente la constituyen estacas provenientes de plantas que sean sanas, vigorosa, libre de enfermedades, de plagas y lastimaduras. De esto depende en gran parte el éxito en cultivos multiplicados vegetativamente siendo responsable no sólo del buen establecimiento del cultivo, sino de su sanidad y producción (Gallego, 1986; citado por Peña, 2010).

2.1.5. Requerimientos edafoclimáticos

a. Suelo

La yuca puede plantarse en una gran variedad de suelos, El cultivo se da desde los suelos muy pobres en elementos nutritivos hasta aquellos con alta fertilidad. Los suelos deben de ser sueltos, porosos, friables, con cierta cantidad de materia orgánica y con un pH entre 6 y 7 (Montaldo 1985, citado por Velázquez, 2013).

Según Cock (1989), La yuca se cultiva usualmente en suelos deteriorados de los órdenes Oxisoles, Ultisoles y Alfisoles. Las concentraciones altas de sales o un pH alto en el suelo afectan a la yuca mucho más que a otros cultivos; por otro lado, la planta crece muy bien en suelos con pH bajo asociado con altos niveles de aluminio.

b. Precipitación

La planta de yuca se siembra en áreas con precipitaciones bajas (750 mm por año) y sobrevive en áreas con períodos secos de hasta 6 meses o más. El cultivo tiene una

utilización del agua extremadamente eficiente. En el comienzo de un periodo seco el área foliar se reduce, esto complementado con un sistema radicular muy disperso resulta en la transpiración reducida del cultivo (Cock 1989).

c. Temperatura

El cultivo de la yuca presenta sus máximos rendimientos a una temperatura de 25-27 grados centígrados, siempre que exista humedad suficiente (Boulhuis, 1966, citado por Cenóz, P. J., Burgos, A. M., & López, A. E. 2005).

2.2. INSEGURIDAD ALIMENTARIA

En el país las condiciones de inseguridad alimentaria y nutricional se evidencian al analizar los indicadores de desnutrición crónica, global y aguda. El 49% de los niños menores de cinco años presenta alta prevalencia de la desnutrición crónica (baja talla para edad); este indicador es de 37% en el área urbana y de 56% en la rural.

Según USAID (2009), la inseguridad alimentaria y desnutrición en Guatemala no se debe a la falta de disponibilidad de alimentos, sino a un acceso inadecuado a los mismos, causado por un bajo poder adquisitivo y una baja absorción de los nutrientes que proporcionan los alimentos consumidos.

La seguridad alimentaria depende, en general, de la disponibilidad y acceso a alimentos; la nutrición, en cambio, depende de la cantidad y calidad de alimentos consumidos, así como de las condiciones de salud y saneamiento ambiental que permiten al organismo aprovechar de manera óptima los alimentos.

Según Peñuela (2011), La deficiencia de vitaminas y minerales es un problema de salud pública en los países más pobres, que afecta a más de la mitad de la población mundial, especialmente a mujeres y niños en edad preescolar, con riesgos para la supervivencia y en algunos casos consecuencias perdurables en la vida adulta. También indica que entre las principales carencias nutricionales están ampliamente

documentadas las deficiencias vitamina A, hierro y zinc. Por lo que diversos organismos internacionales han abordado las carencias de micronutrientes con estrategias universales como la fortificación de alimentos, la distribución de suplementos de micronutrientes y la promoción de la diversificación de la dieta.

2.2.1 Importancia de los micronutrientes en la salud humana

Los micronutrientes son aquellas vitaminas y minerales necesarios en pequeñas cantidades para poder mantener las funciones fisiológicas. Estos deben ser provistos en la alimentación o en suplementos, ya que no pueden ser sintetizados en el cuerpo en cantidades suficientes para satisfacer sus necesidades (Underwood, citado por Morillo 2009). Las deficiencias de micronutrientes, en general, y en particular la vitamina A, hierro, yodo, cinc; afectan a más de la tercera parte de la población mundial, traen serias consecuencias sobre el aprendizaje del niño, la capacidad de trabajo del adulto, y pueden provocar enfermedades, y hasta la muerte (Padrón 2011).

En la dieta, la vitamina A aparece de dos formas: como vitamina A preformada (Retinol) que en su forma cristalina pura, es una sustancia amarillo verdosa, pálida, soluble en grasa, pero insoluble en agua, y se encuentra únicamente en productos animales. Dicha vitamina también se obtiene a partir de carotenoides provenientes de plantas, que son convertidos en retinol en el intestino e hígado (Vuong, citado por Morillo 2009).

La carencia de vitamina A afecta frecuentemente y de manera importante a los ojos y puede llevar a la ceguera. También estudios efectuados en animales demuestran la participación de la vitamina A en la espermatogénesis en el hombre y en la prevención de necrosis placentaria y absorción fetal en la mujer. En la hematopoyesis existe un vínculo entre el hierro y la vitamina A. La anemia por deficiencia de hierro responde mejor si se agrega vitamina A al tratamiento con hierro. La vitamina A también participa en el crecimiento normal del sistema muscular y esquelético, estudios han demostrado que la deficiencia severa disminuye el crecimiento de los niños (McLaren y Friggs, citado por Morillo 2009).

La deficiencia de zinc la cual se piensa que está muy difundida, puede conllevar a crecimiento retardado, depresión de la función inmune, anorexia, dermatitis, anomalías esqueléticas y a un incremento de las complicaciones y la mortalidad durante el parto. Además la deficiencia de zinc en humanos ha sido relacionada con una disminuida utilización de la vitamina A (Graham y Welch, citado por Morillo 2009).

Una estrategia que incremente el contenido de micronutrientes y su biodisponibilidad en los cultivos básicos (cereales y tubérculos) sería un arma muy poderosa para combatir la deficiencia de micronutrientes en las regiones más pobres del mundo (Welch y Graham, citado por Morillo 2009).

2.3. LA BIOFORTIFICACION

La biofortificación surge como una alternativa viable para incrementar el aporte de nutrientes en una comunidad sin modificar sus hábitos alimentarios, que beneficia a las poblaciones desnutridas de las zonas rurales relativamente remotas, con acceso limitado a los programas de administración de suplementos dietéticos y a los alimentos enriquecidos, más fácilmente disponibles en las zonas urbanas.

La biofortificación es una estrategia relativamente nueva y sostenible que permite aumentar el contenido de nutrientes en los alimentos desde el momento de la producción, empleando técnicas de fitomejoramiento natural o genético, no transgénicos, con el fin de aprovechar la variabilidad existente en las especies cultivadas, respecto a su contenido de proteínas y micronutrientes, para aumentar el contenido de los mismos en los cultivos (Peñuela, 2011).

Según el espacio integral de la estrategia de la reducción de la desnutrición crónica (ENRDC) y la Secretaria de Seguridad Alimentaria y Nutricional (SESAN, 2007), uno de los componentes para revertir los efectos de la inseguridad alimentaria es la implementación de esfuerzos para el desarrollo de una alimentación complementaria a través de la producción de cultivos con características alimenticias y que puedan

satisfacer los requerimientos nutricionales mínimos, para lo cual juega un papel importante los cultivos biofortificados.

2.3.1. Que son los cultivos biofortificados

Los cultivos biofortificados tienen mejores características agronómicas y nutricionales, en comparación con cultivos no-biofortificados, es decir, los que consumimos a diario y se denominan convencionales. Los cultivos biofortificados se pueden desarrollar a través de métodos de fitomejoramiento convencional y/o de la biotecnología moderna (Nestel P., Bouis HE., Meenakshi JV., Pfeiffer W. 2006, citado por Pachón 2010).

La biofortificación por fitomejoramiento convencional mejora una característica (nutricional o agronómica) deseable y ya existente en el cultivo convencional.

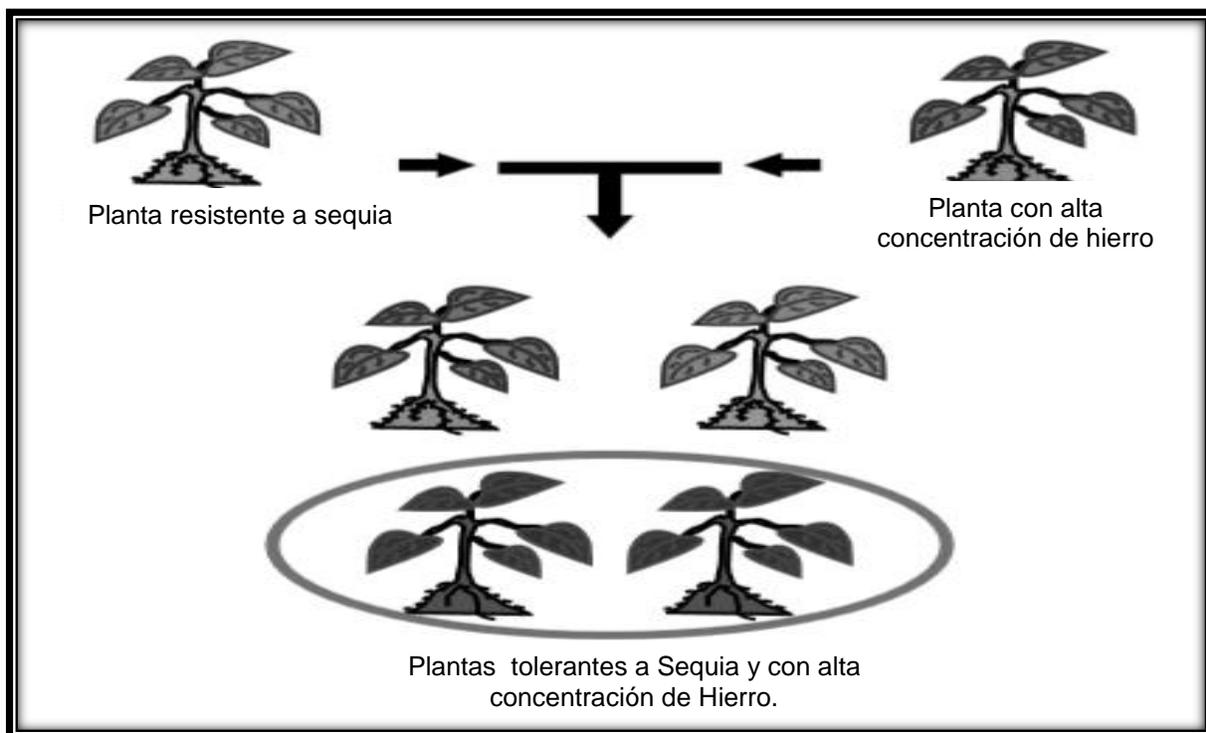


Figura 1. Ejemplo de fitomejoramiento convencional.

En la figura 1 se aprecia la manera en que se desarrollan los cultivos biofortificados, por medio de cruces entre variedades con cualidades de interés que permitan obtener cultivos con las características deseadas por los fitomejoradores Pachón (2010).

2.3.2. Biofortificación del cultivo yuca

La experiencia mundial en el tema de la biofortificación del cultivo yuca, se ha centrado fundamentalmente en el contenido de Caroteno total (β -caroteno).

La importancia del contenido de (β -caroteno), es debido a que esta estructura de carotenoide sirve como precursor clave en la síntesis de la vitamina A, otras estructuras como α -caroteno, γ -caroteno y β -criptoxantina (3-hidroxi- β -caroteno) contribuyen en menor grado en la síntesis de la vitamina (Cunningham y Grantte, 1998, citado por Marín 2008).

2.3.3. Como mejoran la seguridad alimentaria y nutricional

Los cultivos biofortificados pueden mejorar la seguridad alimentaria y nutricional de individuos, familias y comunidades, de dos maneras:

a. Cualidades agronómicas:

A través de sus mejores cualidades agronómicas, por ejemplo mayor rendimiento, las familias aumentan su producción de alimentos y como consecuencia, su energía (kilocalorías) disponible para consumo.

b. Contenido de nutrientes:

Por su mayor contenido de nutrientes, estos cultivos aportan vitamina A, hierro y zinc, en la dieta latinoamericana y caribeña, permitiendo que las personas consumen más de estos nutrientes esenciales para el desarrollo adecuado. Cuantos más cultivos biofortificados se integren a la dieta, mayores serán los nutrientes que se ingieren (Pachón 2010).

De esta manera, los cultivos biofortificados tienen varias ventajas y se convierten en una estrategia para abordar la inseguridad alimentaria y nutricional.

2.4. CULTIVO DE YUCA EN GUATEMALA

Según INE (2003), en el país en este periodo fueron sembradas 396 has., con una producción de 3,221 tm, y un rendimiento promedio de 8.13 tm/ha. A nivel de América Latina y el Caribe el rendimiento de yuca en kilogramos por hectárea para Guatemala, se encuentra por debajo de países como Belice, El Salvador, Nicaragua, Costa Rica y Panamá.

2.4.1 Yuca biofortificada

En la actualidad Guatemala no dispone de un germoplasma biofortificado de yuca con buen potencial de rendimiento y con calidad nutricional, es por ello que el Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas –ICTA-, introduce al país clones de variedades mejoradas de yuca (biofortificadas), con alto contenido de β -caroteno (vitamina A) provenientes del CIAT, como alternativa para obtener un alimento con importantes fuentes de nutrientes y así contribuir al fortalecimiento de la seguridad alimentaria de las zonas productoras del país.

Los clones de los cultivares biofortificados introducidos al país por el ICTA, fueron multiplicados en In Vitro, luego pasaron a ser aclimatados en condiciones controladas para posteriormente establecer ensayos en campo para la evaluación y caracterización morfológica de los cultivares, con el objetivo de identificar germoplasma de yuca con alto potencial de rendimiento y calidad nutricional.

En una investigación realizada por el ICTA en 2015 en la aldea Cristina, Los Amates, Izabal, dicha institución evaluó y caracterizó morfológicamente y agronómica 12 cultivares de yuca biofortificada, siendo estos: CIAT01 CG 7-64, CIAT04 CM 2086-16, CIAT05 CM 3750-5, CIAT06 CM 6119-5, CIAT07 CM 6129-2, CIAT08 SM 734-5, CIAT09 CR-38, CIAT10 GUA-33, CIAT12 GUA-79, CIAT13, CIAT14 GUA-91, CIAT15 MEX-95.

Para tal estudio, la coloración del parénquima de las raíces reservantes (amarillenta) y el rendimiento fue considerado de gran importancia en la investigación. En el ANDEVA, para el rendimiento de los cultivares (a través de modelos lineales y mixtos), existieron diferencias estadísticas altamente significativas, debido a ello la prueba de separación de medias (DGC = 0.05), formó dos grupos estadísticos. El primer grupo formado por las cultivares: CIAT01 CG 7-64, CIAT05 CM 3750-5, CIAT06 CM 6119-5 y CIAT08 SM 734-5 con un rendimiento promedio de 29.51 t ha^{-1} ($\pm 3.41 \text{ t ha}^{-1}$) y el segundo grupo integrado por los cultivares restantes, con un rendimiento promedio de 20.61 t ha^{-1} ($\pm 3.36 \text{ t ha}^{-1}$).

Con base a los resultados obtenidos en rendimiento y el criterio técnico de los investigadores al observar la coloración del parénquima de las raíces, el ICTA recomienda la evaluación del rendimiento en finca de agricultores de 5 cultivares promisorios: CIAT04 CM 2086-16, CIAT05 CM 3750-5, CIAT06 CM 6119-5, CIAT07 CM 6129-2 y CIAT08 SM 734-5, esto para lograr características precisas de un germoplasma biofortificado.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

3.1 Definición del problema y justificación del trabajo

La vulnerabilidad de la zona oriental del país ante el cambio climático, sumado a las sequías y los suelos pobres, han provocado poca disponibilidad de alimentos y escases de nutrientes esenciales en las familias rurales campesina, incrementando la inseguridad alimentaria. La mayoría de los agricultores afectados tienen como su principal fuente de alimentos para la familia, el maíz y frijol únicamente, no teniendo así una diversificación de la dieta.

Los sistemas de producción de los agricultores de escasos recursos, muchas veces son aptas para la producción de otras fuentes alimenticias, como la yuca biofortificada, con el cual se obtiene un alimento con importantes fuentes de nutrientes y que además ofrece otras reconocidas ventajas como tolerancia a la sequía, capacidad de producir en suelos degradados, resistencia a plagas y enfermedades, tolerancia a suelos ácidos.

De esta manera, los cultivos biofortificados tienen varias ventajas y se convierten en una estrategia para abordar la inseguridad alimentaria. Por tal razón, el ICTA, ha establecido ensayos en campo para la evaluación y caracterización de cultivares biofortificados de yuca, de los cuales han seleccionado los materiales, con características agromorfológicas y nutricionales con contenido de β -caroteno principalmente (precursor de vitamina A), como alternativa para obtener una fuente de alimento que aporte a la seguridad alimentaria y nutricional de las familias campesinas rurales.

Debido a esto el presente estudio tuvo por objeto, siguiendo la línea de investigación del ICTA, el evaluar el rendimiento de cinco materiales de yuca biofortificada, así mismo determinar su calidad nutricional, con el cual se obtenga información que pueda generar y validar tecnología que ofrezca al agricultor regional guatemalteco, una alternativa para mejorar la dieta alimenticia, fortaleciendo así su seguridad alimentaria y nutricional.

4. OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar cinco cultivares de yuca biofortificada con alto potencial de rendimiento y calidad nutricional en la aldea Santa Rosalía, Zacapa.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar el rendimiento de cinco cultivares promisorios de yuca biofortificada en kg/ha.
- Determinar la calidad nutricional principalmente el contenido de beta-caroteno y otros nutrientes como hierro y zinc de los cultivares de yuca biofortificados.
- Analizar el aporte nutricional en relación a su rendimiento de los cultivares de yuca biofortificada.

5. HIPÓTESIS

5.1. HIPÓTESIS ALTERNA

- Al menos uno de los cultivares de yuca biofortificadas (*Manihot sculenta Crantz*), es superior en rendimiento kg/ha al resto de los cultivares a evaluar.
- Al menos uno de los cultivares de yuca biofortificadas (*Manihot sculenta Crantz*), es superior en calidad nutricional (contenido de beta-caroteno, hierro y zinc) al resto de los cultivares a evaluar en base al análisis bromatológico.
- Al menos uno de los cultivares de yuca biofortificada (*Manihot sculenta Crantz*), tendrá mejor aporte nutricional en relación a su rendimiento que los demás cultivares a evaluar.

6. METODOLOGÍA

6.1. LOCALIZACIÓN DEL TRABAJO

La fase experimental del proyecto de investigación se llevó a cabo en la zona oriental del país, en el Municipio de Zacapa, departamento de Zacapa, en la aldea de Santa Rosalía, el cual se encuentra ubicado a 150 kilómetros de la capital de Guatemala, y a 6 kilómetros de la cabecera departamental de Zacapa. Las coordenadas geográficas son: latitud norte 14°56'46.58" y longitud oeste 89°31'45.70", a una altitud de 236 metros sobre el nivel del mar.

6.2. MATERIAL EXPERIMENTAL

Para el estudio referido se evaluaron cinco cultivares de yuca biofortificadas (*Manihot esculenta* Crants) provenientes del CIAT (Centro de Investigación de Agricultura Tropical), introducidos al país por el ICTA (Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas) para su respectivo estudio. Los cultivares de yuca biofortificadas están identificados por medio de un código.

6.3. FACTORES A ESTUDIAR

Para la presente investigación se estudió un solo factor, el cual consistió en los cinco cultivares de yuca biofortificadas.

6.4. DESCRIPCIÓN DE LOS TRATAMIENTOS

Los tratamientos fueron los 5 cultivares de yuca biofortificadas, provenientes del CIAT de Colombia. Estos materiales han sido seleccionados por el ICTA como cultivares promisorios, ya que presentaron buena adaptabilidad, rendimiento y características nutricionales, esto como resultado del estudio realizado por dicha institución en el 2015, donde evaluaron doce clones de yuca biofortificada, para lo cual es importante dar seguimiento a la investigación con el fin de obtener características precisas de un germoplasma biofortificado.

Cuadro 2. Descripción de los Tratamientos

Tratamiento	Accesión	País de origen	Departamento
1	CIAT CM 2086-16	Colombia	Valle del Cauca
2	CIAT CM 3750-5	Colombia	Valle del Cauca
3	CIAT CM 6119-5	Colombia	Valle del Cauca
4	CIAT CM 6129-2	Colombia	Valle del Cauca
5	CIAT SM 734-5	Colombia	Valle del Cauca

(ICTA, 2016)

6.5. DISEÑO EXPERIMENTAL

Con el fin de establecer que el efecto de los tratamientos fuese lo más homogéneo posible, se utilizó para la realización de la investigación el diseño experimental correspondiente a bloques completos al azar (DBCA), con cuatro repeticiones (bloques) y cinco tratamientos.

6.6. MODELO ESTADÍSTICO

El modelo estadístico que corresponde al diseño experimental de bloques completos al azar, se indica a continuación:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}$$

Dónde:

Y_{ij} = Variable de respuesta de la ij-ésima unidad experimental.

μ = Efecto de la media general.

τ_i = Efecto del i-ésimo tratamiento.

β_j = Efecto de la j-ésima repetición.

ε_{ij} = Efecto del error experimental asociado a la ij-ésima unidad experimental.

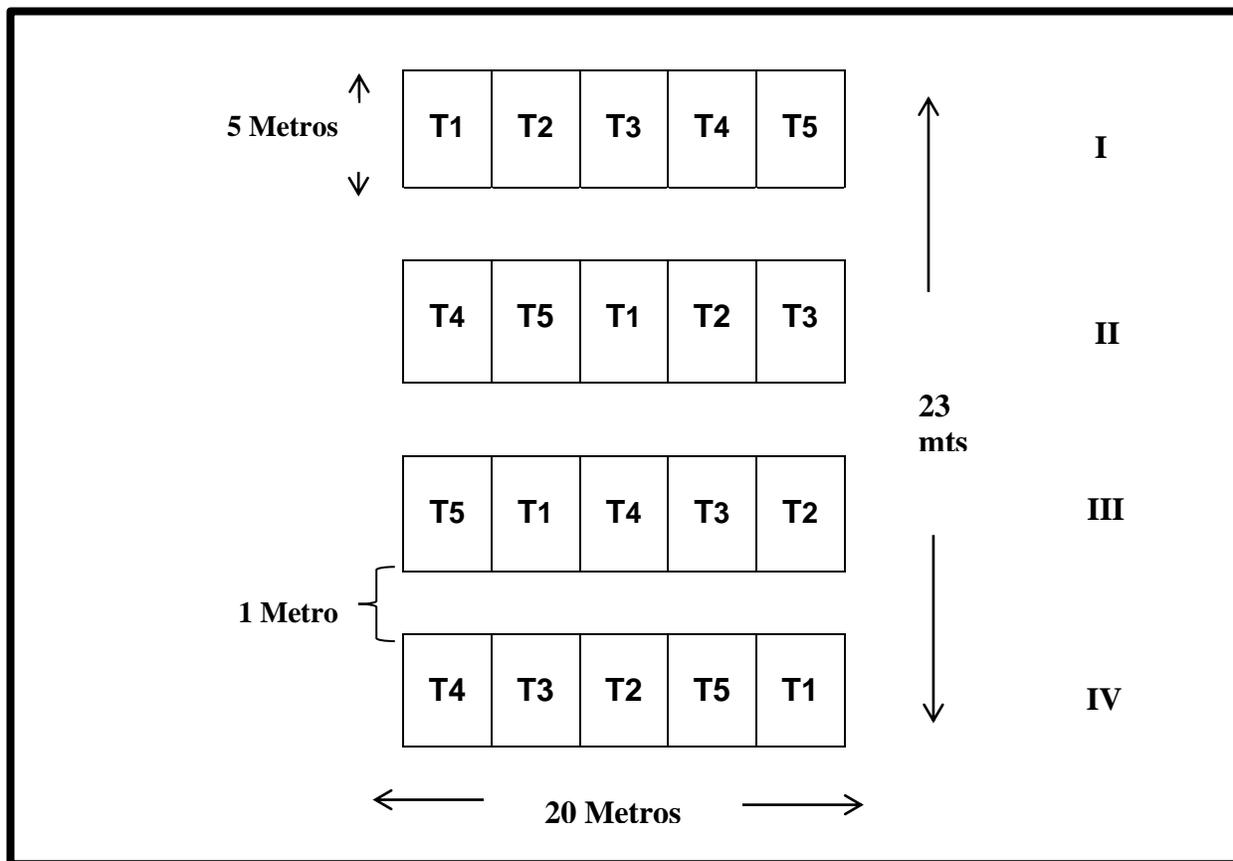
6.7. UNIDAD EXPERIMENTAL

La unidad experimental consistió en cuatro surcos de cinco metros de largo cada uno, para obtener un área de 20 metros cuadrados, utilizando un distanciamiento de siembra de 1 m entre surco por 1 m entre planta, lo que representaría 20 plantas por unidad experimental.

6.8. CROQUIS DE CAMPO

A continuación se presenta la forma en que se distribuyeron los tratamientos (cultivares de yuca biofortificada,) a nivel de campo, tomando en cuenta el diseño de bloques completos al azar, en la aldea Santa Rosalía, Zacapa.

Cuadro 3. Croquis de campo y distribución de los tratamientos.



6.9. MANEJO DEL EXPERIMENTO

6.9.1. Preparación del Suelo

La preparación del suelo se realizó de forma mecánica a través del paso de arado, rastra y surqueadora, con el fin de proporcionar las condiciones necesarias al cultivo para que el mismo alcance un óptimo desarrollo, ya que la yuca requiere preferiblemente un suelo suelto y profundo de 20 a 30 centímetros. Los camellones se hicieron de 1 metro de ancho, sobre los cuales se colocaron los esquejes de yuca .

6.9.2. Trazo de los tratamientos

Luego de la preparación del suelo se procedió a trazar el área de los tratamientos y repeticiones, esto de acuerdo al diseño experimental establecido (DBCA).

6.9.3. Siembra

Los esquejes o cangres que se utilizaron para la siembra fueron cortados de tal manera que tuviesen entre 4 y 6 yemas. Posteriormente se procedió a colocar los esquejes sobre los camellones a un marco de distanciamiento de 1.0 mt entre plantas y 1.0 mt entre surco, para tener una densidad de 10,000 plantas/Ha, Posteriormente a la siembra se aplicó un estimulante (multimineral quelatado) para el crecimiento y desarrollo de raíces conjuntamente con un plaguicida (propamocarb HCl-fosetil aluminio) para prevenir daño por enfermedades fungosas del suelo, la aplicación se hizo en forma de drench a razón de 2 L/ha (estimulante) y 1 L/ha (plaguicida); se aplicó aproximadamente 25 cc en cada postura, luego se aplicó el debido riego después de haber terminado la siembra.

6.9.4. Control de Malezas

El control de las malezas fue realizado de forma manual, haciendo uso de herramienta menor como el azadón, con el cuidado siempre de no causar daño en las plantas de yuca, esta actividad se realizó hasta que el cultivo cubrió totalmente el área plantada.

6.9.5. Nutrición

La nutrición del cultivo se realizó de manera incorporada al suelo y también de forma foliar. Se hizo una aplicación de 260 kg/ha de 15-15-15 y 130 kg/ha de 46-00-00 en forma localizada, a los 20 y 54 días después de la siembra, respectivamente. Además se realizaron aplicaciones foliares de un multimineral quelatado a razón de 2 L/ha.

6.9.6. Control de plagas y enfermedades

Las plagas insectiles se controlaron haciendo uso de plaguicidas (insecticidas) al follaje, alternando Lambda-cihalotrina y Thiacloprid+Beta-cyfluthrina, con dosis de 1 L/ha.

6.10. VARIABLES DE RESPUESTA

- **Rendimiento:**

Se midió el rendimiento de los cinco cultivares de yuca biofortificada en toneladas por hectárea, para tal actividad se incluyó solamente las plantas de los surcos centrales (parcela neta).

El procedimiento general consistió primeramente en cortar los tallos de la planta, para luego extraer la raíz de yuca, luego esta se limpió para remover excesos de tierra y por último se procedió a pesar las raíces en una balanza.

- **Calidad Nutricional:**

Para la determinación de las características nutricionales de cada uno los cultivares de yuca biofortificada, se enviaron las respectivas muestras (un kilogramo) de yuca fresca al Laboratorio de Composición de Alimentos del Centro Analítico Integral -CAI-, del Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá -INCAP-; cumpliendo con los requisitos de envío solicitados por el laboratorio siendo que la raíces sea crudo, no dañado y protegido de la luz, enviándolo en recipientes cerrado para evitar daños por transporte, para determinar a través del

análisis bromatológico, principalmente los niveles de β -carotenos, pues este caroteno es precursor clave de la vitamina A, y también micronutrientes como el Hierro y Zinc, contenidos en la raíz.

6.11. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

6.11.1. Análisis estadístico

Se hizo análisis de varianza (ANDEVA), para las variables bajo estudio se utilizó el programa estadístico InFoStat.; debido a significancias estadísticas para las fuentes de variación se usó el test DGC al 5% con el cual se establecieron diferencias estadísticas en los tratamientos.

6.11.2. Análisis económico

En la presente investigación no se realizará análisis financiero, pues el estudio es enfocado en la seguridad alimentaria, donde se busca obtener una fuente de alimento con importantes características nutricionales, esto como alternativa para mejorar la dieta alimenticia de las familias campesinas. Por lo tanto no se pretende explotarlo de manera comercial.

7. RESULTADOS Y DISCUSION

7.1. RENDIMIENTO DE YUCA BIOFORTIFICADA

Para su determinación se tomó solamente las plantas que se encontraban en los surcos centrales, los que correspondían a la parcela neta (10 plantas por cada unidad experimental). Básicamente consistió en extraer las raíces de yuca, limpiarlas y luego pesar en una balanza el total de raíces cosechadas.

A continuación se muestra los valores de rendimiento en toneladas por hectárea y sus promedios, obtenidos en el ensayo experimental correspondientes a los cinco cultivares de yuca biofortificada, en la aldea Santa Rosalía, Zacapa.

Cuadro 4. Rendimiento en t/ha de los cinco cultivares de yuca biofortificada, Santa Rosalía, Zacapa, 2017.

Tratamientos	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Bloque IV	Total	Promedio
CM 2086-16	37.37	31.2	33.6	35.2	137.37	34.34
CM 3750-5	43.76	30.88	35.92	40.71	151.27	37.82
CM 6119-5	36.48	42.8	37.83	40.5	157.61	39.40
CM 6129-2	41.36	43.11	41.76	44.24	170.47	42.62
SM 734-5	52.44	52.32	46.08	52.43	203.27	50.82

En el cuadro 4 se observa que los diferentes cultivares ejercieron diferentes resultados en cuanto a la variable rendimiento. Se puede apreciar que el material SM 734-5 es el que mejor rendimiento presenta con un promedio de 50.82 t/ha y por otra parte, el material CM 2086-16 fue el que menor rendimiento alcanzó con un promedio de 34.34 t/ha. Por lo tanto al observar los resultados obtenidos se procedió a realizar el análisis de varianza para determinar estadísticamente si existen diferencias entre los tratamientos.

A continuación se presenta el análisis de varianza (ANDEVA), haciendo uso el programa estadístico InFoStat.; debido a significancias estadísticas para las fuentes de variación se usó el test DGC al 5% con el cual se establecieron diferencias estadísticas de los cinco tratamientos estudiados.

Cuadro 5. Análisis de varianza para la variable rendimiento (t/ha) de los cultivares de yuca biofortificada, Santa Rosalía, Zacapa, 2017.

F.V	SC	GI	CM	F	p-valor
Modelo	668.93	7	95.56	8.84	0.0006
Tratamientos	624.01	4	156.00	14.43	0.0002
Bloque	44.92	3	14.97	1.39	0.2947
Error	129.70	12	10.81		
Total	798.63	19			

El análisis de varianza indica que existen diferencias altamente significativas entre los tratamientos, los cuales son cinco cultivares de yuca biofortificada provenientes del CIAT de Colombia. El cuadro 5 muestra que al menos una variedad de yuca biofortificada presentó diferencias significativa en cuanto a rendimiento respecto de los demás cultivares que se estudiaron, por lo que se confirma la hipótesis alternativa planteada.

Debido a las diferencias significativas se procedió a realizar una prueba de separación de medias a través del método DGC, para el factor cultivar.

Cuadro 6. Prueba de separación de medias del rendimiento de los cultivares de yuca biofortificada, Santa Rosalía, Zacapa, 2017.

Cultivares	Rendimiento en t/ha	N	E.E	Agrupación por DMS
SM 734-5	50.82	4	1.64	A
CM 6129-2	42.62	4	1.64	B
CM 6119-5	39.40	4	1.64	B
CM 3750-5	37.82	4	1.64	B
CM 2086-16	34.34	4	1.64	C

En el cuadro 6 se observa la formación de tres grupos estadísticos; el primero formado por el cultivar SM 734-5 el cual alcanzó el mayor rendimiento con una media de 50.82 toneladas por hectárea. El segundo grupo consiste en los cultivares CM 6129-2, CM 6119-5, CM 3750-5 con una media de 39.95 t/ha y el último grupo fue formado por el cultivar con el menor rendimiento CM 2086-16 con una media de 34.34 t/ha.

7.2. CALIDAD NUTRICIONAL

La inseguridad alimentaria y desnutrición en Guatemala no se debe a la falta de disponibilidad de alimentos, sino a un acceso inadecuado de los mismos y una baja absorción de nutrientes, es decir bajo poder adquisitivo de alimento con calidad nutricional (USAID, 2009).

La biofortificación de la yuca es una estrategia que permite aumentar el contenido de nutriente en las raíces desde el momento de la producción, estas mejoras se han centrado fundamentalmente en el contenido de caroteno total, debido a su importancia como precursor en la síntesis de la vitamina A (β -carotenos).

Para la determinación de las características nutricionales de los cultivares que se estudiaron de yuca biofortificada, se enviaron muestras (1 kg) al laboratorio del INCAP, cumpliendo con los requisitos de envío solicitados por tal institución para asegurar que no hubiese daños por transporte de las muestras. A continuación se muestra los resultados obtenidos de los niveles de β -carotenos, hierro y zinc, de los cinco tratamientos que se estudiaron.

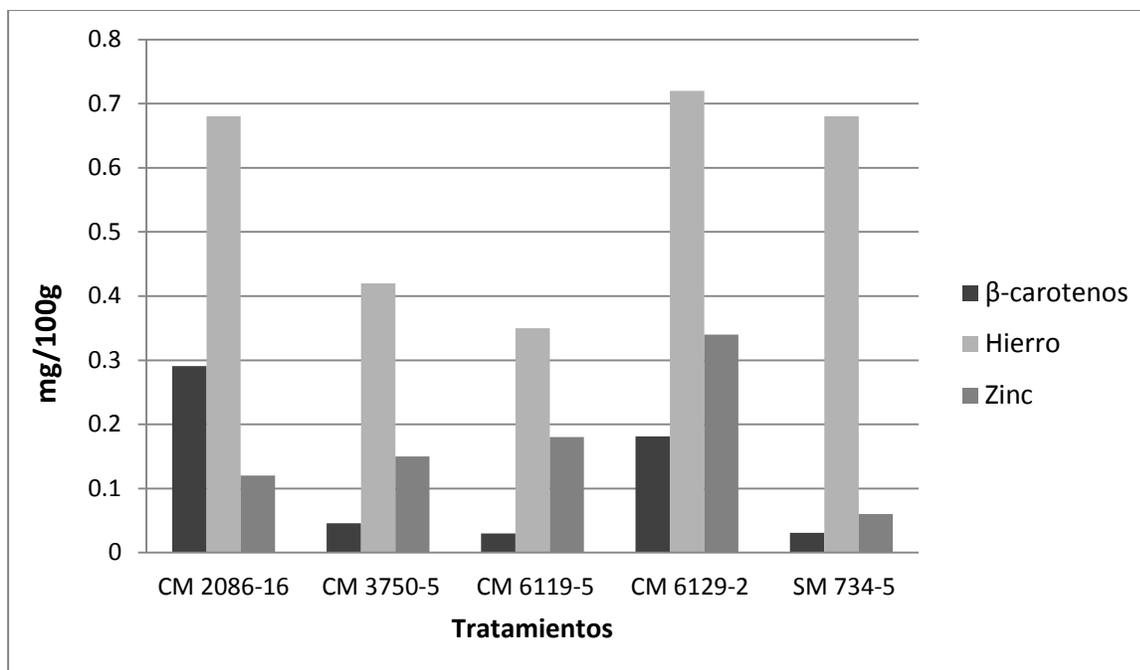


Figura 3. Contenido de β -carotenos, Hierro y Zinc de los cultivares de yuca biofortificada, Santa Rosalía, Zacapa, 2017.

En la figura 3 se puede observar que los datos obtenidos del laboratorio indican que el cultivar CM 2083-16 contiene más alto nivel de b-caroteno con un valor de 0.291 mg por 100 cada 100 gramos de raíz; seguido por el cultivar CM 6129-2 con valor de 0.181mg/100g. Los tres cultivares restantes presentaron mínimos niveles de este carotenoide con un promedio de 0.036 mg/100g.

Para el contenido de hierro y zinc fue el cultivar CM 6129-2 que obtuvo mayores resultados con 0.72 mg de hierro y 0.34 mg de zinc por cada 100 gramos de raíz.

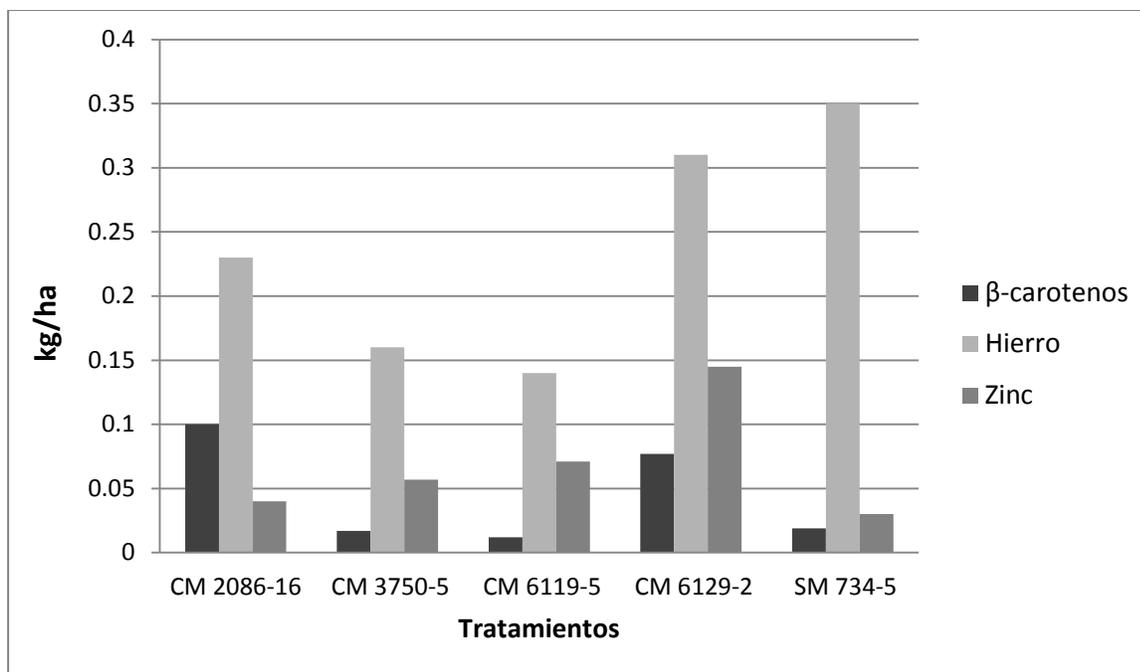


Figura 4. Aporte nutricional (β -carotenos, Hierro y Zinc) en base al rendimiento obtenido de los cultivares de yuca biofortificada, Santa Rosalía, Zacapa, 2017.

En la figura 4, se puede observar que los cultivares CM 2086-16 y CM 6129-2 son los que mejor calidad nutricional presentan que el resto aun cuando estos, no alcanzan los mayores rendimientos. El aporte de β -carotenode cada uno, es de 0.100 y 0.077 kg por hectárea respectivamente. El aporte hierro y zinc para el cultivar CM6129-2 es de 0.310 y 0.145 kg/ha respectivamente, mayor que el cultivar CM 2086-16 el cual obtuvo un aporte de 0.23 kg de hierro y 0.04 kg de zinc por hectárea, estos nutrientes también sirven en el crecimiento y desarrollo adecuado del ser humano.

La biofortificacion de la yuca tiene como objetivo incrementar el contenido de vitamina A como alternativa para combatir las deficiencias de este nutriente y contribuir en el fortalecimiento de la seguridad alimentaria de las personas con poco acceso a alimentos de calidad nutricional, por tal razón los cultivares CM 3750-5, CM 6119-5 y SM 734-5 se toman en menos importancia por el bajo contenido de β -caroteno obtenido.

8. CONCLUSIONES

El análisis estadístico mostró diferencias altamente significativas entre los tratamientos para la variable rendimiento, formando tres grupos estadísticos; el primero conformado por el cultivar SM 734-5 el cual alcanzó el mayor rendimiento con una media de 50.82 t/ha, superando al segundo grupo con una diferencia de 10.87 t/ha el cual consistió en los cultivares CM 6129-2, CM 6119-5, CM 3750-5 con una media de 39.95 t/ha y con una diferencia de 16.48 t/ha del último grupo que es conformado por el cultivar CM 2086-16 con una media de 34.34 t/ha siendo el de menor rendimiento.

Se determinó en base al análisis del laboratorio que el cultivar CM 2086-16 obtuvo más alto nivel de β -caroteno (vitamina A), con un contenido de 0.291mg/100g de raíz, dando un aporte de 0.100 kg/ha, seguido por el cultivar CM 6129-2 con un contenido de 0.181mg/100g de raíz, y un aporte de 0.077 Kg/ha. El contenido de hierro y zinc fue mayor para el cultivar CM6129-2 con niveles 0.72 mg/100g de raíz para el hierro y 0.34 mg/100g de raíz para el zinc.

Teniendo en cuenta el rendimiento obtenido de cada material estudiado y relacionándolo con su contenido nutricional, partiendo de la importancia del β -caroteno que es el precursor de la vitamina A, los cultivares CM 2086-16 y CM 6129-2 a pesar de no alcanzar los mejores resultados en productividad, estos por su calidad nutricional son los que mayor aporte nutricional generan, siendo así una opción como complemento para mejorar la dieta alimenticia de los agricultores de escasos recursos.

9. RECOMENDACIONES

Considerando los resultados obtenidos por los cultivares CM 2086-16 y CM6129-2, que por su calidad nutricional, generan mayor aporte de vitamina A, se sugiere que el ICTA siguiendo el proceso de generación de tecnología, realice las gestiones correspondientes para liberar estos materiales de yuca biofortificada, y así poder establecer campos de reproducción y distribuirlos a las familias de las áreas rurales.

Se recomienda realizar estudios sobre el grado de aceptación que las personas tienen para los materiales de yuca biofortificada, tomando en cuenta sus características organolépticas.

Capacitar a los productores agrícolas rurales y sus familias sobre la importancia de la diversificación de la dieta y el papel importante que juegan los cultivos biofortificados en el fortalecimiento de su seguridad alimentaria y nutricional.

10. REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

- Aristizábal, J y Sánchez, T. (2007). Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca. Boletín de servicios agrícolas, No. 163. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia. 154 p.
- Ceballos H (2002). La yuca en Colombia y el mundo: Nuevas perspectivas para un Cultivo milenario. En Ospina, B; Ceballos, H. La yuca en el tercer milenio. Sistemas modernos de producción, procesamiento, utilización y comercialización. CIAT. Vol. 327, Capítulo I y II. Cali, Colombia. p. 1-31.
- Cenóz, P. J., Burgos, A. M., & López, A. E. (2005). La temperatura como factor de crecimiento y rendimiento de raíces en mandioca (Manihot esculenta Crantz). Facultad de Ciencias Agrarias de la UNNE-UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE. Resumen: A-027, Comunicaciones Científicas y Tecnológicas, Corrientes. Argentina. Disponible en: <http://200.45.54.140/unnevieja/Web/cyt/com2005/5-Agrarias/A-027.pdf>
- CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical) (2002). La yuca en el tercer milenio: sistemas modernos de producción, procesamiento, utilización y comercialización Cali, Colombia. Disponible en red: <http://www.clayuca.org/>
- Cock, J. H. 1989. La yuca, nuevo potencial para un cultivo tradicional. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. 240 p. Disponible en: http://pdf.usaid.gov/pdf_docs/PNABE091.pdf
- Marín, J. A. (2008). Carotenos en yuca: mapeo genético y análisis de QTLs en una población S1 de yuca (Manihot esculenta Crantz). Tesis de grado. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Agrarias. Escuela de posgrados. Palmira, Colombia. 216 p.

Morillo, Y. 2009. Herencia del contenido de carotenos en raíces de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) (en línea). Tesis Doctoral. Palmira, Colombia, UNC. Consultado 20 ago. 2016. Disponible en <http://www.bdigital.unal.edu.co/725/1/9004004.2009.pdf>

Ortega, E. (2005). Raíces y tuberculos biofortificados: una innovación contra el hambre y la desnutrición en el mundo. INIA-CIAE, Monagas. Estacion Experimental Caripe.Colombia. Pag 24-56

Pachón, Helena. 2010. Impacto nutricional de cultivos biofortificados o cultivos con mayor calidad nutricional. AgroSalud; CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical), Cali, CO. 12 p. Disponible en: <http://lac.harvestplus.org/wp-content/uploads/2015/02/cartilla-impacto-nutricional impresion feb12 10.pdf>

Peña, H. (2010). Efecto de cuatro dosis de fósforo (p2o5) y dos fuentes de materia orgánica sobre el crecimiento y rendimiento del cultivo de yuca 450 (*Manihot esculenta* Crantz, euphorbiaceae), en la aldea talquezal, jocotán, Chiquimula, Guatemala. Tesis. Ing. Agr. Guatemala, Guatemala URL. 48 p.

Peñuela, R. M. U. (2011).Perspectivas en Nutrición Humana. Escuela de Nutrición y Dietética de la Universidad de Antioquia Vol. 13 No. 2. p 119-120. Disponible en: <http://aprendeonline.udea.edu.co/revistas/index.php/nutricion/article/view/12263/1122>

Sistema Integrado de Informacion Taxonomica –SIIT-(2016). Herarquia taxonómica serie No. 503688, (en línea). Consultado el 20 de febrero de 2016. Disponible en http://www.itis.gov/servlet/SingleRpt/SingleRpt?search_topic=TSN&search_value=503688/

Suárez, L., y Mederos, V. (2011). Apuntes sobre el cultivo de la yuca (*Manihot esculenta*Crantz). Tendencias actuales. *Cultivos tropicales*, 2011, vol. 32, no 3, p. 27-35.

USAID. (2009). Alcanzando la Seguridad Alimentaria en Guatemala: Oportunidades y Retos. USAID- Programa de Comercio y Competitividad.

Velásquez, R (2013). Efecto del tamaño de estaca y modalidad de siembra sobre el rendimiento del cultivo de yuca. Catarina, San Marcos. Tesis Ing. Agr. Coatepeque, Guatemala URL.

X. ANEXO



Figura 5. Preparación del suelo para el área de siembra de los cultivares de yuca, Santa Rosalia, Zacapa, 2017.



Figura 6. Siembra de esquejes de yuca biofortificada a un distanciamiento de 1.0 mt x 1.0 mt, para tener una densidad de 10,000 plantas/Ha, Santa Rosalía, Zacapa, 2017.



Figura 7. Control de malezas en ensayo de yuca biofortificada, Santa Rosalía, Zacapa, 2017.



Figura 8. Plantación de cultivares biofortificadas de yuca en aldea Santa Rosalía, Zacapa, 2017.



Figura 9. Cosecha de los cultivares de yuca biofortificada, Santa Rosalia, Zacapa, 2017.



Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá (INCAP)
Unidad de Nutrición y Micronutrientes
Centro Analítico Integral (CAI)
Laboratorio de Composición de Alimentos (LCA)
Calzada Roosevelt 6-25, Zona 11, Guatemala, C.A.
PBX: (502) 2315-7900, Directo: (502) 2471-9912. Fax: (502) 2473-6529
www.incap.int

INFORME DE ANÁLISIS

No. CA-17-043

Solicitante:	Josué Waldemar Oliva Alvarado.	Código de Lab:	LCA-17-053
Atención:	Josué Waldemar Oliva Alvarado.	No. de Orden:	LCA-17-017
Dirección:	Aldea Santa Rosalía, Zacapa, Guatemala.	Fecha de ingreso:	07/02/2017
Teléfono:	3058-2489	Fecha del informe:	08/03/2017
Correo electrónico:	josuewoa@gmail.com	Tipo de servicio solicitado:	Análisis de hierro, zinc y beta-caroteno.

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA

Empaque primario:	Papel periódico y bolsa plástica.	Temperatura de recepción:	Ambiente
Tipo de muestra:	Yuca	Fecha de inicio del análisis:	08/02/2017
Descripción por el solicitante:	Yuca CIAT SM 734-5		

I.RESULTADOS DE ANÁLISIS

Análisis	Resultado	Metodología basada en:
Hierro (mg/100g)	0.68	AOAC 944.02. 18ª. ed.
Zinc (mg/100g)	0.06	SM 3120B ⁽¹⁾
β-caroteno (μg/100g)	31	AOAC 941.15. 18ª. ed.

Referencias:

⁽¹⁾ Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, APHA, AWWA, WWF. 21 ed. 2005.


Licda. Mónica Guamuch
Responsable del LCA



Los resultados corresponden solamente a las muestras analizadas en el laboratorio.
Se prohíbe la reproducción parcial de este informe sin la aprobación escrita del laboratorio.

Figura 10. Informe de análisis β-caroteno, hierro y zinc del Cultivar de yuca biofortificada SM 734-5, Santa Rosalia, Zacapa, 2017.



Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá (INCAP)
Unidad de Nutrición y Micronutrientes
Centro Analítico Integral (CAI)
Laboratorio de Composición de Alimentos (LCA)
Calzada Roosevelt 6-25, Zona 11, Guatemala, C.A.
PBX: (502) 2315-7900, Directo: (502) 2471-9912, Fax: (502) 2473-6529
www.incap.int

INFORME DE ANÁLISIS

No. CA-17-042

Solicitante:	Josué Waldemar Oliva Alvarado.	Código de Lab:	LCA-17-052
Atención:	Josué Waldemar Oliva Alvarado.	No. de Orden:	LCA-17-017
Dirección:	Aldea Santa Rosalía, Zacapa, Guatemala.	Fecha de ingreso:	07/02/2017
Teléfono:	3058-2489	Fecha del informe:	08/03/2017
Correo electrónico:	josuewoa@gmail.com	Tipo de servicio solicitado:	Análisis de hierro, zinc y beta-caroteno.

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA

Empaque primario:	Papel periódico y bolsa plástica.	Temperatura de recepción:	Ambiente
Tipo de muestra:	Yuca	Fecha de inicio del análisis:	08/02/2017
Descripción por el solicitante:	Yuca CIAT CM 6129-2		

I. RESULTADOS DE ANÁLISIS

Análisis	Resultado	Metodología basada en:
Hierro (mg/100g)	0.72	AOAC 944.02. 18ª. ed.
Zinc (mg/100g)	0.34	SM 3120B ⁽¹⁾
β-caroteno (μg/100g)	181	AOAC 941.15. 18ª. ed.

Referencias:

⁽¹⁾ Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, APHA, AWWA, WWF. 21 ed. 2005.


Licda. Mónica Guamuch
Responsable del LCA



Los resultados corresponden solamente a las muestras analizadas en el laboratorio.
Se prohíbe la reproducción parcial de este informe sin la aprobación escrita del laboratorio.

Figura 11. Informe de análisis β-caroteno, hierro y zinc del Cultivar de yuca biofortificada CM 6129-2, Santa Rosalía, Zacapa, 2017.



Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá (INCAP)
Unidad de Nutrición y Micronutrientes
Centro Analítico Integral (CAI)
Laboratorio de Composición de Alimentos (LCA)
Calzada Roosevelt 6-25, Zona 11, Guatemala, C.A.
PBX: (502) 2315-7900, Directo: (502) 2471-9912, Fax: (502) 2473-6529
www.incap.int

INFORME DE ANÁLISIS

No. CA-17-041

Solicitante:	Josué Waldemar Oliva Alvarado.	Código de Lab:	LCA-17-051
Atención:	Josué Waldemar Oliva Alvarado.	No. de Orden:	LCA-17-017
Dirección:	Aldea Santa Rosalía, Zacapa, Guatemala.	Fecha de ingreso:	07/02/2017
Teléfono:	3058-2489	Fecha del informe:	08/03/2017
Correo electrónico:	josuewoa@gmail.com	Tipo de servicio solicitado:	Análisis de hierro, zinc y beta-caroteno.

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA

Empaque primario:	Papel periódico y bolsa plástica.	Temperatura de recepción:	Ambiente
Tipo de muestra:	Yuca	Fecha de inicio del análisis:	08/02/2017
Descripción por el solicitante:	Yuca CIAT CM 6119-5		

I. RESULTADOS DE ANÁLISIS

Análisis	Resultado	Metodología basada en:
Hierro (mg/100g)	0.35	AOAC 944.02. 18ª. ed.
Zinc (mg/100g)	0.18	SM 3120B ⁽¹⁾
β-caroteno (μg/100g)	30	AOAC 941.15. 18ª. ed.

Referencias:

⁽¹⁾ Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, APHA, AWWA, WWF. 21 ed. 2005.


Licda. Monica Guamuch
Responsable del LCA



Los resultados corresponden solamente a las muestras analizadas en el laboratorio.
Se prohíbe la reproducción parcial de este informe sin la aprobación escrita del laboratorio.

Figura 12. Informe de análisis β-caroteno, hierro y zinc del Cultivar de yuca biofortificada CM 6119-5, Santa Rosalia, Zacapa, 2017.



Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá (INCAP)
Unidad de Nutrición y Micronutrientes
Centro Analítico Integral (CAI)
Laboratorio de Composición de Alimentos (LCA)
Calzada Roosevelt 6-25, Zona 11, Guatemala, C.A.
PBX: (502) 2315-7900, Directo: (502) 2471-9912, Fax: (502) 2473-6529
www.incap.int

INFORME DE ANÁLISIS

No. CA-17-040

Solicitante:	Josué Waldemar Oliva Alvarado.	Código de Lab:	LCA-17-050
Atención:	Josué Waldemar Oliva Alvarado.	No. de Orden:	LCA-17-017
Dirección:	Aldea Santa Rosalía, Zacapa, Guatemala.	Fecha de ingreso:	07/02/2017
Teléfono:	3058-2489	Fecha del informe:	08/03/2017
Correo electrónico:	josuewoa@gmail.com	Tipo de servicio solicitado:	Análisis de hierro, zinc y beta-caroteno.

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA

Empaque primario:	Papel periódico y bolsa plástica.	Temperatura de recepción:	Ambiente
Tipo de muestra:	Yuca	Fecha de inicio del análisis:	08/02/2017
Descripción por el solicitante:	Yuca CIAT CM 3750-5		

I. RESULTADOS DE ANÁLISIS

Análisis	Resultado	Metodología basada en:
Hierro (mg/100g)	0.42	AOAC 944.02. 18ª. ed.
Zinc (mg/100g)	0.15	SM 3120B ⁽¹⁾
β-caroteno (μg/100g)	46	AOAC 941.15. 18ª. ed.

Referencias:

⁽¹⁾ Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, APHA, AWWA, WWF. 21 ed. 2005.


Licda. Mónica Guamuch
Responsable del LCA



Los resultados corresponden solamente a las muestras analizadas en el laboratorio.
Se prohíbe la reproducción parcial de este informe sin la aprobación escrita del laboratorio.

Figura 13. Informe de análisis β-caroteno, hierro y zinc del Cultivar de yuca biofortificada CM 3750-5, Santa Rosalia, Zacapa, 2017.



Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá (INCAP)
Unidad de Nutrición y Micronutrientes
Centro Analítico Integral (CAI)
Laboratorio de Composición de Alimentos (LCA)
Calzada Roosevelt 6-25, Zona 11, Guatemala, C.A.
PBX: (502) 2315-7900, Directo: (502) 2471-9912, Fax: (502) 2473-6529
www.incap.int

INFORME DE ANÁLISIS

No. CA-17-039

Solicitante:	Josué Waldemar Oliva Alvarado.	Código de Lab:	LCA-17-049
Atención:	Josué Waldemar Oliva Alvarado.	No. de Orden:	LCA-17-017
Dirección:	Aldea Santa Rosalía, Zacapa, Guatemala.	Fecha de ingreso:	07/02/2017
Teléfono:	3058-2489	Fecha del informe:	08/03/2017
Correo electrónico:	josuewoa@gmail.com	Tipo de servicio solicitado:	Análisis de hierro, zinc y beta-carotenos.

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA

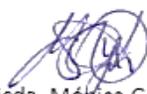
Empaque primario:	Papel periódico y bolsa plástica.	Temperatura de recepción:	Ambiente
Tipo de muestra:	Yuca	Fecha de inicio del análisis:	08/02/2017
Descripción por el solicitante:	Yuca CIAT CM 2086-16		

I. RESULTADOS DE ANÁLISIS

Análisis	Resultado	Metodología basada en:
Hierro (mg/100g)	0.68	AOAC 944.02. 18 ^a . ed.
Zinc (mg/100g)	0.12	SM 3120B ⁽¹⁾
β-caroteno (μg/100g)	291	AOAC 941.15. 18 ^a . ed.

Referencias:

⁽¹⁾ Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, APHA, AWWA, WWF. 21 ed. 2005.


Licda. Mónica Guamuch
Responsable del LCA



Los resultados corresponden solamente a las muestras analizadas en el laboratorio.
Se prohíbe la reproducción parcial de este informe sin la aprobación escrita del laboratorio.

Figura 14. Informe de análisis β-caroteno, hierro y zinc del Cultivar de yuca biofortificada CM 2086-16, Santa Rosalia, Zacapa, 2017.