

AGROCIENCIA

Cultivando el conocimiento para un mejor futuro



Año I
No 2

septiembre - noviembre 2017



Simposio Investigación Científica
Facultad de Ciencias Agronómicas
Universidad de El Salvador
17-18-19 de octubre de 2017



Por una soberanía y seguridad alimentaria sostenible





Maestro Roger Armando Arias Alvarado
Rector

Dr. Manuel de Jesús Joya Ábrego
Vicerrector Académico

Ing. Agr. Nelson Bernabé Granados Alvarado
Vicerrector Administrativo

Maestro Cristóbal Hernán Ríos Benitez
Secretario General

Licda. Josefina Sibrián
Presidenta Asamblea General Universitaria (AGU)

Ing. Agr. M.Sc. José Miguel Sermeño Chicas
**Secretario de Investigación Científica de la Universidad
de El Salvador (SIC-UES)**
**Director Ejecutivo del Consejo de Investigaciones
Científicas de la Universidad de El Salvador (CIC-UES)**



Ing. Agr. M.Sc. Juan Rosa Quintanilla Quintanilla
Decano Facultad de Ciencias Agronómicas

Dr. Francisco Lara Ascencio
Vicedecano Facultad de Ciencias Agronómicas

Ing. Agr. M.Sc. Luis Fernando Castaneda Romero
Secretario Facultad de Ciencias Agronómicas

Ing. Agr. M.Sc. Elmer Edgardo Corea Guillén
**Jefe de la Unidad de Investigación Facultad de Ciencias
Agronómicas**

Br. Geovany Castillo Salaverría
**Presidente de la Asociación de Estudiantes de la
Facultad de Ciencias Agronómicas (ASECAS)**

Br. Luis Urbina Castillo
**Secretario de la Asociación de Estudiantes de la
Facultad de Ciencias Agronómicas (ASECAS)**



Revista Agrociencia, una publicación de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador.
Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador.
Agosto 2017.

Comité Editorial

Ing. Agr. M.Sc. Fidel Ángel Parada Berrios,
Departamento de Fitotecnia, Facultad de Ciencias
Agronómicas de la Universidad de El Salvador.

Inga. Agr. M.Sc. Blanca Lorena Bonilla de Torres.
Departamento de Química Agrícola, Facultad de Ciencias
Agronómicas de la Universidad de El Salvador.

MVZ. María José Vargas Artiga.
Departamento de Medicina Veterinaria, Facultad de Ciencias
Agronómicas de la Universidad de El Salvador.

Inga. Agr. M.Sc. Blanca Eugenia Torres de Ortiz,
Departamento de Zootecnia, Facultad de Ciencias
Agronómicas de la Universidad de El Salvador.

Ph.D. Lara-Uc Ma. Mónica.
Alumno Posdoctorante Posgrado de Ciencias Marinas y
Costeras de Universidad Autónoma de Baja California Sur
Universidad Autónoma de Baja California Sur, La Paz, Baja
California Sur, México.

Ing. Agr. Sabas Alberto Argueta Palacios.
Departamento de Recursos Naturales y Medio Ambiente,
Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El
Salvador.

Ph.D. Víctor D. Carmona Galindo.
Director of Sustainability and Associate Professor Biology
Department. University of Detroit Mercy, Detroit
Michigan, United States.

Ing. Agr. Leopoldo Serrano Cervantes.
Departamento de Protección Vegetal, Facultad de Ciencias
Agronómicas de la Universidad de El Salvador.

Lic. Aisur Ignacio Agudo Padrón.
Gerente Investigador del Proyecto Brasileño Autónomo
“Avulsos Malacológicos - AM, Brasil.

MVZ Rudy Anthony Ramos Sosa.
Departamento de Protección Vegetal, Facultad de Ciencias
Agronómicas de la Universidad de El Salvador.

Ing. Agr. M.Sc. Miguel Ángel Hernández Martínez.
Escuela de Posgrado y Educación Continua, Facultad de
Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador.

Ing. Agr. M.Sc. Elmer Edgardo Corea Guillén.
Jefe Unidad de Investigación, Facultad de Ciencias
Agronómicas de la Universidad de El Salvador.

Ing. Agr. M.Sc. José Miguel Sermeño Chicas.
Secretario de Investigaciones Científicas (SIC-UES)
y Director ejecutivo (CIC-UES) Universidad de El Salvador.

Ing. Agr. Rafael Antonio Espino Barahona.
Departamento Desarrollo Rural, Facultad de Ciencias
Agronómicas de la Universidad de El Salvador.

Carlos Estrada
Director- Editor de la revista Agrociencia, Facultad de
Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador.

Contenido

Evaluación de dos fuentes de fertilización, en tres sustratos sólidos bajo la técnica de hidroponía y su incidencia en el rendimiento de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) variedad marglobe. **Pág 6**

Evaluation of two sources of fertilization, in three solid substrates under the Hydroponics technique and its impact on tomatoes' yield (*Lycopersicon esculentum* Mill) the Marglobe variety

Evaluación del efecto del ácido ascórbico como inhibidor de pardeamiento enzimático en el fruto de anona pulpa rosada (*Annona diversifolia*) y en la cinética de la polifenoloxidasas. **Pág 20**

Evaluation of ascorbic acid effect as enzymatic browning inhibitor in pink pulp anona fruit (*Annona diversifolia*) and on the polyphenol oxidase kinetics

Determinación del análisis bromatológico proximal y calidad culinaria de *Phaseolus vulgaris* L. (frijol común) grano negro criollo cultivado en la zona occidental de El Salvador. **Pág. 34**

Manejo Pesquero Sostenible de *Ucides occidentalis* ("punche"), recurso hidrobiológico de la Cuenca Baja del Río Lempa, Bahía de Jiquilisco, departamento de Usulután. **Pág. 46**

Caracteres fenológicos, morfológicos, y agronómicos de 26 líneas mutantes de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en su séptima generación en la búsqueda de genotipos promisorios a potencial de rendimiento, El Salvador. **Pág. 60**

Characters phenological, morphological and agronomical 26 mutant lines (*Phaseolus vulgaris* L.) in its seventh generation in search of promising genotypes yield potential, El Salvador.

Director- Editor: Carlos Estrada
Correctora de estilo: Yesica Guardado

AGROCIENCIA
Cultivando el conocimiento para un mejor futuro



Nº 2
Año I
septiembre-noviembre 2017

<http://revistas.ues.edu.sv/index.php/agrociencia>

Acharia horrida



Larvas de *Acharia horrida* (Dyar) (Familia Limacodidae) en una hoja de cacao en El Salvador. Las larvas son gregarias y poseen setas urticantes para protegerse de los enemigos naturales. Causan mucho dolor cuándo entran en contacto con la piel del humano. Fotografía: Sermeño Chicas, JM.

Evaluación de dos fuentes de fertilización, en tres sustratos sólidos bajo la técnica de hidroponía y su incidencia en el rendimiento de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) variedad marglobe

Evaluation of two sources of fertilization, in three solid substrates under the Hydroponics technique and its impact on tomatoes' yield (*Lycopersicon esculentum* Mill) the Marglobe variety

Miranda Andrés, A.E.

Estudiante Tesista,

Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador.

Correo electrónico: esa.miranda84@gmail.com

Pérez Ascencio, M. A.

Departamento de Fitotecnia,

Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador.

Correo electrónico: maralfre29@gmail.com

Sánchez de Gracias, C.M.

Estudiante Tesista,

Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador.

Correo electrónico: scledymarilyn@yahoo.es

Martínez Sierra. B.

Departamento de Fitotecnia,

Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador.

Correo electrónico: balmoresierra@yahoo.com

Resumen

La investigación se realizó en la Colonia Bernal, San Salvador, departamento de San Salvador, durante los meses de noviembre de 2014 a marzo de 2015. Se evaluaron dos fuentes de fertilización, en tres sustratos sólidos bajo la técnica de hidroponía y su incidencia en el rendimiento de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) variedad marglobe.

Para la nutrición del cultivo se empleó una solución nutritiva, la cual está hecha a base de sales minerales que contiene macroelementos y microelementos esenciales para el desarrollo de las plantas, comparado con un testigo fertilizante Blaukorn® (conocido como fertilizante azul granulado) en tres sustratos (escoria volcánica, fibra de coco y piedra pómez), bajo la técnica de hidroponía en un área total de 40 m² bajo condiciones de invernadero. Se utilizó el diseño simple completo al azar con un arreglo factorial de 2x3 con seis tratamientos y cinco repeticiones, se aplicó la prueba de contrastes ortogonales con un grado de significancia de 0.05. Los indicadores evaluados fueron: fenología del cultivo (etapas de su desarrollo), altura de la planta (m), diámetro del tallo (cm), número de flores por racimo, número de frutos por racimo, diámetro del fruto (cm), peso del fruto (g), grados Brix, dureza del fruto (Lb/cm), rendimiento por planta.

Los indicadores que presentaron valores significativos fueron: altura de planta (sales minerales en sustrato de fibra de coco (T3), valores promedios de 2.38 m), número de flores por racimos (sales minerales, produciendo mayor número de f. con una media igual 73.20, y Blaukorn® con media igual a 58.33), número de frutos por racimo (sales minerales y escoria volcánica con media de 5.73 unidades, Blaukorn® y fibra de coco con media igual a 4.07 unidades), diámetro de frutos (la fibra de coco produjo mayor diámetro con una media igual a 5.86, seguido de escoria volcánica con media de 5.50 y piedra pómez con media de 5.07), peso de fruto (la fibra de coco produjo mayor peso con una media igual a 106.29 seguido de escoria volcánica con media de 96.36 y piedra pómez con media de 95.55), grados Brix (las sales minerales produjeron mayor cantidad de grados Brix con media igual a 5.18, seguido del Blaukorn® con media igual a 4.72) y rendimiento por planta rendimiento por planta, los restantes no presentaron valores significativos. Para el análisis económico, se realizó el presupuesto parcial, beneficios netos y una tasa de retorno marginal.

Se concluye que el fertilizante a base de materias primas (sales minerales) resultó ser el mejor en el sustrato escoria volcánica con un rendimiento por planta de 59.80 unidades promedio, lo que representa un peso promedio de 6.33 kg, seguido de fibra de coco con 50.20 unidades y un peso de 5.30 kg, y piedra pómez con 45.70 unidades. Y Blaukorn® lo expresó en escoria volcánica con un 49.00 unidades en relación a los otros sustratos. En cuanto al número de fruto por planta la fuente sales minerales está produjo efectos significativos con 1.67 unidades más, con respecto a la fuente Blaukorn® y asimismo en los grados Brix, la fuente sales minerales

produjo efectos significativos con 0.46 unidades más, con respecto a la fuente Blaukorn®. Se determinó la fenología del cultivo bajo condiciones de invernadero, y se demostró que en un espacio reducido se obtiene mayor producción por unidad de área y mejor calidad en forma escalonada fuera de época de cosecha.

Palabras clave: tomate, soluciones nutritivas, Blaukorn®, fibra de coco, hidroponía.

Abstract

The research was conducted in Bernal Colonia, San Salvador, San Salvador Department, during the months of November 2014 to March 2015. Two sources of fertilization were evaluated in three solid substrates under the hydroponics technique and its impact on the performance of the Marglobe tomato variety. (*Lycopersicon esculentum* Mill)

For crop nutrition, nutrient solutions based on mineral salts were used. These solutions contained macro and micro elements, which are essential for plant development, compared to a witness fertilizer called Blaukorn® (known as blue granular fertilizer) In three substrates (cinder, coir and pumice) under the hydroponics technique in a total area of 40 m² under greenhouse conditions. A simple, complete and random design was used using a 2x3 factorial arrangement with six treatments and five repetitions, an orthogonal contrasts test was applied with a degree of significance of 0.05. The evaluated indicators were: crop phenology (development stages), plant height (meters), stem diameter (cm), number of flowers per bunch, number of fruit per bunch, fruit diameter (cm), fruit weight (g), Brix degree, hardness of the fruit (Lb / cm), and yield by plant.

The indicators which presented significant values were: plant height, (mineral salts coir substrate (T3), average values of 2.38 m) number of flowers per cluster, (mineral salts, producing greater number of f. with an average equal to 73.20, and Blaukorn® with mean equal to 58.33), number of fruits per bunch, (Mineral salts and volcanic slag with average 5.73 units, Blaukorn® and coir with mean equal to 4.07 units) fruit diameter, (Coconut fiber produced larger diameter with an average equal to 5.86, followed by half of cinder and pumice 5.50 with a mean of 5.07), fruit weight, (Coconut fiber produced greater weight with an average equal to 106.29 followed by cinder with mean 96.36 and pumice with average 95.55) Brix degree, (Minerals produced more Brix degrees with mean equal to 5.18, followed by Blaukorn® with mean equal to 4.72) and yield per plant, the remaining had no significant values or output. For the economic analysis, a partial budget, net benefits and a marginal rate of return was made.

It is concluded that a fertilizer based on raw materials (mineral salts) turned out to be the best in the substrate cinder yield per plant with a 59.80 average units, representing an average weight of 6.33 kg, followed by coir with 50.20 units and weighing 5.30 kg, and pumice with 45.70 units respectively. And Blaukorn® expressed it in cinders with 49.00 units in relation to other substrates respectively.

As for the number of fruit per plant the source mineral salts produced significant effects With 1.67 units more with respect to the source Blaukorn® and also in the brinx grade. The mineral salts source produced significant effects with 0.46 more units, with respect to the Blaukorn® source. It was determined that the phenology crop under greenhouse conditions showed that in a reduced space a higher production per unit by area and better quality in a ladder type of technique and out of the harvest season was obtained.

Key words: Tomato, nutrient solutions, Blaukorn®, coconut fiber, hydroponics.

Introducción

En la actualidad más del 60% de la población vive en la zona urbana, lo cual implica una explotación excesiva de los recursos naturales ya que existe un aumento acelerado de la demanda de alimentos. Por lo tanto la agricultura urbana, puede contribuir a la seguridad alimentaria, aumentando la cantidad de alimentos disponibles para las familias y puede aumentar la variedad general y el valor nutritivo de los alimentos disponibles (Gordillo Anda, s.f.). Razón por la cual en El Salvador, la tenencia de la tierra, la asistencia técnica limitada y el bajo nivel tecnológico, entre otras, han sido causas para que en aquellas áreas en que se cultiva tomate, bajo un sistema de producción convencional, se genere bajo rendimiento, motivo que ha llevado a que muchos productores abandonen el rubro; razón por la cual, se busca obtener mayor rendimiento y calidad de los frutos.

Por lo anterior, el presente trabajo tuvo como objetivo evaluar dos formulaciones fertilizante soluble sales minerales y solido Blaukorn® aplicadas en tres sustratos piedra pómez, escoria volcánica y fibra de coco implementando la técnica de hidroponía bajo condiciones controladas en el área urbana con la finalidad de obtener mayor rendimiento del tomate variedad marglobe bajo la técnica de hidroponía.

Los nutrientes para las plantas cultivadas en HHP son suministrados en forma de soluciones nutritivas que se consiguen en el comercio agrícola. Las soluciones pueden ser preparadas por los mismos cultivadores cuando ya han adquirido experiencia en el manejo de los cultivos o tienen áreas lo suficientemente grandes como para que se justifique hacer una inversión en materias primas para su preparación. Alternativamente, si las mismas estuvieran disponibles en el comercio, es preferible comprar las soluciones concentradas, ya que en este caso sólo es necesario disolverlas en un poco de agua para aplicarlas al cultivo. Las soluciones nutritivas concentradas contienen todos los elementos que las plantas necesitan para su correcto desarrollo y adecuada producción de raíces, bulbos, tallos, hojas, flores, frutos o semillas. (Marulanda, 2003.).

El cultivo hidropónico engloba todo cultivo que completa su ciclo vegetativo sin

la necesidad de emplear suelo, suministrando la nutrición mediante una solución que contiene los nutrientes esenciales para su desarrollo (Maroto Borrego 2000). Además presentan grandes ventajas sobre los cultivos tradicionales, tales como: mejor control de los factores externos (condiciones de clima), plagas, enfermedades, eficiencia en la dosificación de nutrientes, disminuye el estrés de la planta, mejor control de pH, eficiencia en el uso de agua, oxigenación en las raíces; (Jones y Mullins, citado por Joyar Tiznado y Barakat Larios, 1994).

Un sustrato es un medio inerte que cumple dos funciones esenciales: anclar y aferrar las raíces protegiéndolas de la luz y permitiéndoles respirar, contener agua y los nutrientes que la planta necesita. Los gránulos de los sustratos deben permitir la circulación de aire y la solución nutritiva. Se consideran buenos aquellos que permitan la presencia entre 15 y 35 por 100 de aire y entre 20 y 60 por 100 de agua. (Mora 1999).

En cuanto al efecto de los fertilizantes en los sustratos, con la implementación de las nuevas formas de producir alimento, bajo condiciones protegidas, permiten utilizar fuentes de fertilización en relación a los métodos convencionales de fertilización. En las fuentes de fertilización hidrosolubles existen las formuladas en base a las etapas fenológicas del cultivo y con la obtención de las sales minerales con las cuales se elaboran las soluciones concentradas, previas al conocimiento de la química aplicada, ya que se calcula el MOL de cada materia prima (sales minerales) para tener una adecuada solución concentrada. Es necesario destacar que no existe una única fórmula para nutrir los cultivos hidropónicos, la mejor fórmula es la que cada uno ensaye y le resulte aceptable.

Materiales y Métodos

Ubicación: Duración, Unidades Experimentales.

El establecimiento del cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.), se realizó en la Colonia Bernal, San salvador, departamento de San Salvador, durante los meses noviembre de 2014 a marzo de 2015. Siendo sus coordenadas geográficas, las siguientes: Latitud 13°43'13.72" N y Longitud 89° 13'5.07" W, las condiciones climáticas fueron: temperatura promedio 24.75°C, precipitación 1,652 mm, humedad relativa del 70%, y una radiación solar promedio de 5.8 kw/h/m², con 10 horas de sol promedio al día y una altura de 700 msnm (SNET, 2013).

Metodología de campo del invernadero

La investigación se realizó bajo una estructura tipo invernadero con dos caídas de agua. Las dimensiones fueron de 5 metros de ancho por 8 metros de largo con un área total de 40 m², altura lateral de 2.50 metros y central de 3 metros. Los materiales de construcción de forma artesanal fueron: postes de bambú, reglas pachas y costaneras.

Los materiales de recubrimiento en la parte superior se utilizó plástico transparente UV y las partes laterales con malla agril.

Contenedores: Se utilizaron cajas plásticas con dimensiones de 0.46 m de largo, 0.28 m de ancho y 0.15 m de alto. La base interior de las cajas se cubrió con plástico color negro; con el propósito de evitar la pérdida del sustrato de las cajas.

Establecimiento y manejo del cultivo

Sustratos sólidos utilizados

Piedra pómez

Escoria volcánica

Fibra de coco

Preparación de sustratos

Tamizado de sustratos. Se utilizó zaranda calibre 3 mm, 6 mm y 12 mm, con el propósito de obtener granulometrías diferentes de piedra pómez y escoria volcánica. La fibra de coco cuenta con una granulometría adecuada para hidroponía.

Llenado de cajas. Para el caso de la escoria volcánica y piedra pómez, al interior de la caja se colocó tres capas: la primera correspondió a la granulometría de 12 mm de diámetro (espesor de la capa, 3 cm de altura); en la segunda capa, se colocó la granulometría de 6 mm de diámetro (capa de 7 cm de altura); y la tercera granulometría fue de 3 mm de diámetro (capa superior de 3 cm de altura). La fibra de coco se utilizó tal como la produce el proveedor.

Desinfección de sustratos. Se realizó el método físico, el cual consistió en aplicar dos galones de agua hirviendo por cada metro cuadrado.

Semilla utilizada. Tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) variedad marglobe, es una variedad de crecimiento indeterminado con una altura de 1,5-1,7 metros. El tallo principal es un eje, con un grosor que oscila entre 2-4 cm en su base, sobre el que se van desarrollando hojas, tallos secundarios (ramificación simpodial) e inflorescencias. Los frutos globosos de tamaño grande y superficie lisa, pulpa muy carnosa y jugosa. Baya bi o plurilocular que puede alcanzar un peso que oscila entre unos pocos miligramos hasta 600 gramos.

Prueba de germinación. Se realizó con 20 semillas de tomate variedad marglobe al interior de una caja Petri, obteniendo un 80% de germinación en las semillas, en un periodo de cuatro a cinco días.

Preparación de plantines. Se utilizaron bandejas de polietileno de color negro de 200 celdas sobre las cuales se colocó el sustrato a base de fibra de coco. Se depositó una semilla por celda a una profundidad de 0.05 m. Seguidamente se cubrió con una capa delgada del mismo sustrato y finalmente se realizó el riego respectivo. Las bandejas se colocaron en un propagador.

Trasplante. El trasplante se realizó a los 22 días después de la siembra. Previo a esta labor se realizó un riego en las cajas para mantener la humedad a capacidad de campo. Se colocaron dos plántulas por caja distanciadas a 0.25 m entre plantas y para el distanciamiento entre surco se tomó de base el centro de cada caja, donde estaba cada tallo de las plantas, lo que significó 0.80 m entre surco, en los laterales a 0.90 m. Por otra parte, si expresamos el resultado por m² en la investigación se empleó una densidad de siembra de tres plantas por m².

Nutrición de la planta. Para elaborar la solución concentrada fue indispensable calcular y pesar las cantidades necesarias de sales minerales para un volumen de agua determinado.

Para un ciclo de cultivo de 150 días, la programación de fertirriego en hidroponía se detalla en el cuadro 1. En el tanque A se colocan los macroelementos y en el B los microelementos. De esta solución se elaboró la solución nutritiva, con un volumen de 10 ml. de solución concentrada por cada litro de agua que se aplicó a las plantas. Las sales minerales concentradas y balanceadas son químicamente estas las más exactas, y las que requiere el cultivo ya que es una más completa ya que lleva macro y microelementos en forma de quelatos.

Para la aplicación del Blaukorn® o abono complejo granulado con magnesio, azufre y microelementos de coloración azul 12-8-16(3-25), en el tratamiento testigo T4, T5, T6, (cuadro 2) se agregó de 191 g/caja, fraccionado en 19 aplicaciones: una de 8 g al trasplante; 17 aplicaciones de 10 g por semana y la última de 13 g a la semana 19, se aplicó disuelto en agua. Un día después del trasplante se inició el programa de fertilización, se consideró el pH de la solución nutritiva con un valor de 6.00 y la conductividad eléctrica del agua con valores entre 1.00 a 1.70 $\mu\text{S}/\text{cm}$, los cuales fueron distribuidos según la etapa fenológica del cultivo iniciando con 1.00 $\mu\text{S}/\text{cm}$ es las primeras tres semanas, 1.4 $\mu\text{S}/\text{cm}$ desde la cuarta a la octava semana y 1.70 $\mu\text{S}/\text{cm}$ desde la octava hasta la última semana.

Riego. El sistema de riego por goteo bajo la técnica de fertirriego, se controló por un sistema eléctrico de bombeo a través de dos timer unido a un tanque de agua de 24 litros, que se encargó de distribuir la solución nutritiva hacia cada uno de 60 goteros auto compensados con una capacidad de descarga de cuatro litros por hora de acuerdo a las diferentes etapas fenológicas del cultivo. La programación fue de cuatro ciclos al día para las primeras tres semanas, cada ciclo se activó por un tiempo máximo de dos minutos. Después del trasplante y de la octava semana en adelante fue una programación de ocho ciclos, se activó por un tiempo máximo de tres minutos. De la cuarta a la octava semana en adelante fue una programación de cuatro ciclos, se activó por un tiempo máximo de cuatro minutos. El segundo timer controló los nebulizadores con una descarga de 0.51 litro/minuto. Se activaron cada cinco minutos con una duración de cinco segundos con una descarga de agua de 42.5 ml.

Tutoreo. Se realizó utilizando postes de bambú con una altura de 3 m, enterrándolos a una profundidad de 0.5 m. con un distanciamiento entre tutores de 2 m. Se colocó la primera hilada de alambre galvanizado calibre 18, a una altura de 0.20 m del nivel del sustrato. Se realizó 20 días después del trasplante. Las siguientes hilada fueron colocadas a 0.30 m respectivamente.

Podas.

Poda sanitaria: consistió en la eliminación de aquellas hojas basales que estaban en contacto directo con el sustrato, hojas con madures fisiológica; evitando así focos de infección y mejorando la ventilación e iluminación de las plantas.

Poda de producción: Es una práctica imprescindible para las variedades de crecimiento indeterminado. Se realiza días después del trasplante con la aparición de los primeros tallos laterales, que serán eliminados, al igual que las hojas más viejas, mejorando así la aireación.

Monitoreo de plagas y enfermedades: Se llevó a cabo un monitoreo semanalmente en relación a la fitosanidad de las plantas.

Cosecha: Se realizó a partir de los 70-75 días después del trasplante, haciéndose manualmente dos veces por semana, cosechando todos aquellos frutos que presentaron una tonalidad rojiza (sazones) y rojo (maduros).

Metodología Estadística

Diseño estadístico: Se utilizó el diseño simple completo al azar con un arreglo factorial de 2x3 con seis tratamientos y cinco repeticiones. Con un nivel de confianza del 5%

Factores en estudio: sustratos piedra pómez, escoria volcánica, fibra de coco y dos fuentes de fertilización sales minerales y Blaukorn®.

Distribución espacial de los tratamientos en campo: Se realizó el sorteo al azar y los tratamientos se distribuyeron en la infraestructura.

Prueba estadística. Se aplicó la prueba de contrastes ortogonales con un grado de significancia de 0.05. C1: T1; T4 C2: T2; T 5. C3: T3; T6.

Variables evaluadas:

Y1= altura de la planta (m): Se midió desde la parte basal del tallo a nivel del sustrato hasta el ápice de la planta, utilizando una cinta métrica plástica.

Y2= diámetro del tallo (cm): Este se midió a una distancia de 15 cm desde el nivel del sustrato, utilizando el calibrador vernier (pie de rey).

Y3= número de flores por racimo: Se contaron todas las flores que tenía cada racimo y se llevó un registro, el conteo se hizo cada semana.

Y4= número de frutos por racimo: Los frutos se contaron por racimo cada quince días, a partir del primer conteo de flores que se realizó.

Cuadro1. Solución hidropónica estándar concentrada para tomate (solución madre), en 1000 litros de agua por tanque.

	Fórmula y nombre del fertilizante	Cantidad de fertilizante por 1000 lt de agua
Tanque A	Nitrato de calcio	72.5 Kg
	Fe – EDTA Quelato de Hierro	1.54 Kg
	KNO ₃ Nitrato de Potasio	31.73 Kg
Tanque B	KNO ₃ Nitrato de Potasio	53.92 Kg
	KH ₂ PO ₄ Monofosfato de Potasio	11.8 Kg
	NH ₄ H ₂ PO ₄ Fosfato Monoamónico	13.1 Kg
	MgSO ₄ 7H ₂ O sulfato de Magnesio heptahidratado	26.5 Kg
	MnSO ₄ H ₂ O sulfato de Manganeso monohidratado	217 g
	ZnSO ₄ 7H ₂ O sulfato de Zinc heptahidratado	89 g
	CuSO ₄ 5H ₂ O sulfato de Cobre pentahidratado	20 g
	H ₃ BO ₃ ácido Bórico	144 g
	Na ₂ MoO ₄ molibdato de sodio	13 g
Tanque C	Ácido nítrico	33 l

Cuadro 2. Tratamientos en estudio.

Tratamientos	Descripción
T ₁	Piedra pómez con sales minerales
T ₂	Escoria volcánica con sales minerales
T ₃	Fibra de coco con sales minerales
T ₄	Piedra pómez con Blaukorn®
T ₅	Escoria volcánica Blaukorn®
T ₆	Fibra de coco con Blaukorn®

Y5= diámetro del fruto (cm): Se realizó después de cada corta, utilizando el calibrador tipo vernier, se midieron los lados laterales del fruto obteniendo de esta manera su diámetro exterior.

Y6= peso del fruto (g): Cada fruto se pesó en una balanza digital.

Y7= grados Brix: Se colocó una gota del jugo del fruto en un refractómetro previamente calibrado.

Y8= dureza del fruto (Lb/cm): Utilizamos un penetrometro, el cual se coloca en el fruto y se realiza una fuerza moderada para poder penetrar el fruto.

Y9= rendimiento por planta. Se hizo la sumatoria total de los frutos, de cada uno de los tratamientos (Lb)

Metodología económica:

Para el análisis económico de la investigación, se aplicó el método propuesto por el Centro de Investigación del Maíz y Trigo (CIMMYT), el cual consiste en un presupuesto parcial, análisis de dominancia y tasa de retorno marginal, que se utiliza para organizar los datos experimentales con el fin de obtener los ingresos, costos y los beneficios de los diferentes tratamientos alternativos (tecnologías).

Resultados y Discusión

Altura de la planta de tomate variedad marglobe. Los datos promedio de altura de planta (m), para cada una de las repeticiones obtenidas se detallan en la figura 1.

En relación a los términos estadísticos la altura de la planta expresa variabilidad en el comportamiento de los tratamientos. La combinación sales minerales con fibra de coco (T3), produjo las mayores alturas de plantas con una media igual 2.38 m, seguidos de los tratamientos T2, T1, T5, T4 y T6 con medias iguales a 2.10, 2.07, 1.74, 1.74, y 1.60 m.

Joyar Tiznado, y Barakat (1994). En la etapa vegetativa la densidad de 6 plantas por metro cuadrado, obtiene una altura promedio de 2.5 m inferiores a densidades mayores de 3.10 m, la nutrición fue uniforme para cada planta, por lo que la diferencia probablemente se deba al tipo de variedad.

.En esta investigación al utilizar las diferentes combinaciones entre las fuentes de fertilización y los sustratos, se obtuvo que las mejores alturas de las plantas, se producen al ser fertilizadas con sales minerales en sustrato de fibra de coco (T3), obteniendo valores promedios de 2.38 debido a que la solución contiene mejores componentes nutricionales que el Blaukorn®.

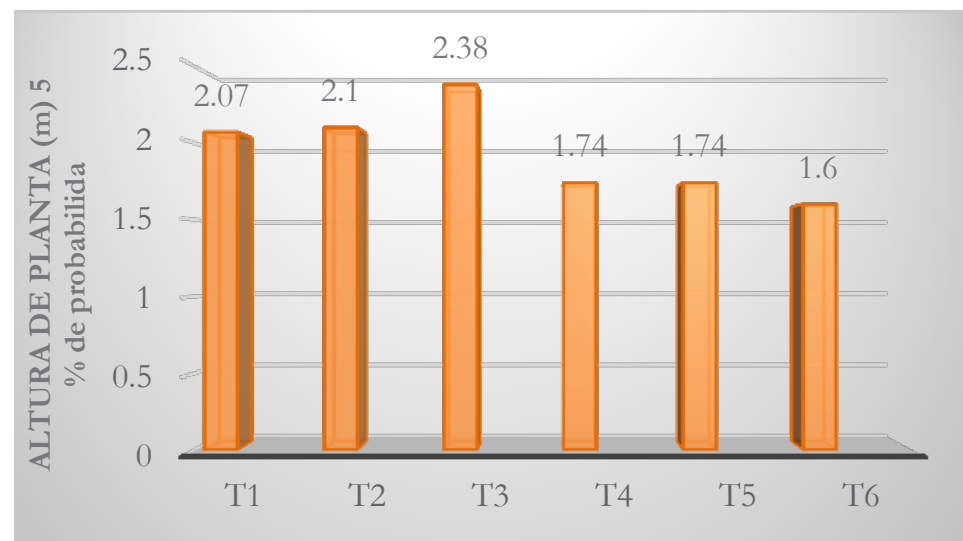


Figura 1. Interacción de la fuente de fertilización y sustratos en relación a la altura de la planta de tomate, bajo la técnica de hidroponía. T1= Piedra pómez con sales minerales; T2= Escoria volcánica con sales minerales; T3=Fibra de coco con sales minerales; T4= Piedra pómez con Blaukorn®; T5= Escoria volcánica con Blaukorn®; T6= Fibra de coco con Blaukorn®.

Diámetro de los frutos de tomate variedad marglobe

El sustrato fibra de coco produjo efectos significativos, con respecto a los sustratos escoria volcánica y piedra pómez en el diámetro de frutos, tal como se observa en la figura 2.

Desde el punto de vista Estadístico hay variabilidad en el comportamiento de los sustratos es decir en su efecto sobre el diámetro de frutos. El sustrato fibra de coco está produciendo mayor diámetro de frutos de tomate variedad marglobe con una media igual a 5.86. Seguido de los sustratos escoria volcánica con una media de 5.50 y piedra pómez con media de 5.07. tal como se muestra en el figura 2.

Joyar Tiznado, y Barakat Larios. 1994. En su investigación el promedio obtenido de los frutos se encuentra dentro del tipo medio (diámetro transversal entre 4.0 y 7.9 cm), al compararlos con los de DIVAGRO- FUSADES (1988), eran menor a los que evaluaron en la localidad de Zapotitán, 13 variedades de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) las cuales presentaron mejores resultados (Caramelo, Umayá, fresh pak y luxor), con diámetros de fruto de 7.6, 8.0, 9.5y 10 cm.

Sin embargo esta investigación los promedios de diámetros obtenidos se encuentran en los rangos anteriormente mencionados; se puede afirmar que las sales aplicadas a fibra de coco producen mayor diámetro promedio en los frutos que en piedra pómez y escoria volcánica.



Figura 2. Diámetro promedio de frutos de tomate en cultivo hidropónico (sustratos).

Número de flores por racimo en plantas de tomate variedad marglobe

Datos promedio de número de flores por planta según las fuentes de fertilización, obtenidos se detallan en la Figura 3.

En relación a la estadística hay variabilidad en el comportamiento de las fuentes, es decir en su efecto sobre el número de flores por planta con una probabilidad de 0.05. La fuente sales minerales, está produciendo mayor número de flores con una media igual 73.20, seguido del Blaukorn® con una media igual a 58.33.

Esto puede relacionarse con el factor sales minerales ya que son más complejas y le aportan a la planta más elementos que son esenciales para su buen desarrollo, no así el Blaukorn® que no contiene todos esos elementos en su composición.

En relación a la estadística hay variabilidad en el comportamiento de las fuentes, es decir en su efecto sobre el número de flores por planta con una probabilidad de 0.05. La fuente sales minerales, está produciendo mayor número de flores con una media igual 73.20, seguido del Blaukorn® con una media igual a 58.33.

Esto puede relacionarse con el factor sales minerales ya que son más complejas y le aportan a la planta más elementos que son esenciales para su buen desarrollo, no así el Blaukorn® que no contiene todos esos elementos en su composición.

Número de frutos por racimo en plantas de tomate variedad marglobe

La fuente sales minerales produjeron efectos significativos con una probabilidad de 0.05, con 1.67 unidades más, con respecto a la fuente Blaukorn® en el número de frutos por racimo (Fig. 4)

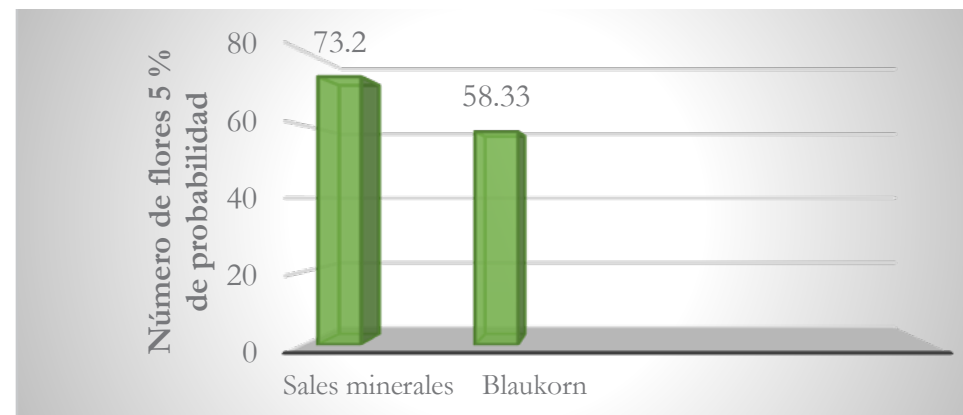


Figura 3. Número de flores por planta de tomate en cultivo hidropónico.

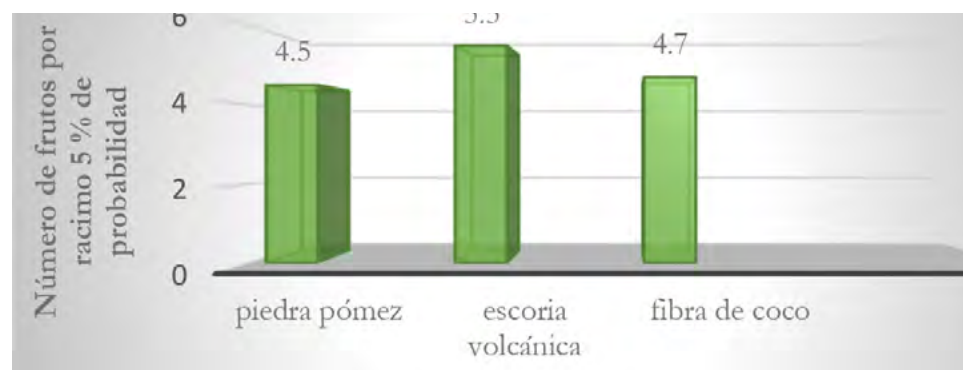


Figura 4: Número de frutos por racimo de tomate en cultivo hidropónico (sustratos).

Estadísticamente hay variabilidad en el comportamiento de los sustratos es decir en su efecto sobre el número de frutos por racimo. El sustrato escoria volcánica está produciendo mayor número de frutos por racimo con una media igual a 5.50. Seguido de los sustratos fibra de coco y piedra pómez con medias iguales a 4.70 y 4.50 con una probabilidad de 0.05, tal como se muestra en la figura 4.

Zarate Nicolás (2007) en su investigación producción de tomate hidropónico con sustratos bajo invernadero; menciona que utilizando fibra de coco + SUN 7705(variedad), y obtuvo un promedio de 8.5 frutos por racimos, en la fase inicial de producción de la planta

Sin embargo en esta investigación, el número de frutos por racimo fueron inferiores a los datos antes mencionados. En la combinación fuentes de fertilización y sustratos las sales minerales y escoria volcánica se obtuvo una media de 5.73 unidades por racimo, seguido de la combinación Blaukorn® y fibra de coco con una media igual a 4.07 unidades por racimo.

Peso de frutos en plantas de tomate variedad marglobe

En términos estadísticos los factores fuentes de fertilización (sales minerales y Blaukorn®) y los sustratos (piedra pómez, escoria volcánica y fibra de coco) produjeron efectos significativo con una probabilidad del 0.05.

Hay variabilidad desde el punto de vista estadístico en el comportamiento del factor sustratos es decir en su efecto sobre el peso promedio de frutos. El sustrato fibra de coco está produciendo mayor peso de frutos de tomate con una media igual a 106.29. Seguido de los sustratos escoria volcánica con una media de 96.36 y piedra pómez con media de 95.55. (Fig. 5)

Wittwer *et al.* (1979), citado por Joyar Tiznado y Barakat (1994), reporta rangos en peso de fruto de 130gr a 150 gr, sin embargo Vilanova (1992), obtuvo rangos de 110 gr a 130 g, para la variedad floradade bajo hidroponía; Citado también por Joyar Tiznado y Barakat (1994); donde menciona que los resultados son similares a los de la investigación, lo que comprueba que el peso promedio por fruto está relacionado por la variedad y factores ambientales.

Sin embargo, en esta investigación los promedios de pesos obtenidos por fruto se encuentran en los rangos anteriormente mencionados; se puede afirmar que los pesos cambian según la variedad que se utilice; comprobando de esta manera que la variedad Marglobe se obtuvo peso de hasta 310 gr, utilizando sales minerales aplicadas a fibra de coco ya que este produjo mayor peso promedio en los frutos que piedra pómez y escoria volcánica.

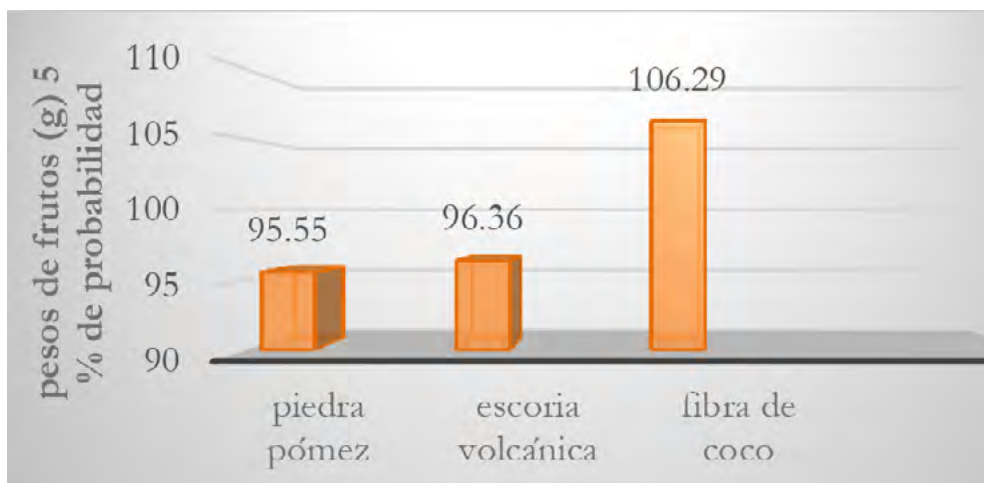


Figura 5. Peso promedio de frutos de tomate en cultivo hidropónico (sustratos).

Grados Brix en plantas de tomate variedad marglobe

El factor fuentes (sales minerales) produjo efectos significativos con una probabilidad de 0.05, con 0.46 unidades más, con respecto a la fuente Blaukorn®, en los grados Brix.

Estadísticamente hay variabilidad en el comportamiento de las fuentes, es decir en su efecto sobre los grados Brix de frutos. Las sales minerales, están produciendo mayor cantidad de grados Brix con una media igual 5.18, seguido del Blaukorn® con una media igual a 4.72 (Fig. 6)

Santiago, J. *et al.* (1998). En su investigación menciona que de acuerdo a los grados Brix, el genotipo híbrido bingo presento un valor de 5.0° Brix. En general los frutos de todos los genotipos arrojaron un valor arriba de 4.0° Brix, a excepción de la de la variedad flodade que presento un valor de 3.9° lo que pudiera ser menor atractivo este genotipo, a pesar de que ocupa el segundo lugar en rendimiento por planta.

En la investigación las plantas que obtuvieron mayor porcentaje de grados Brix fueron a las que se les aplico sales minerales con valor de 5.18°, mientras que con Blaukorn® se obtuvo datos de 4.76°. Esto puede estar relacionado con la cantidad del elementos y la concentración de las sales minerales, en relación con el Blaukorn® ya que las sales permiten la mejor formación de azúcares en los frutos.

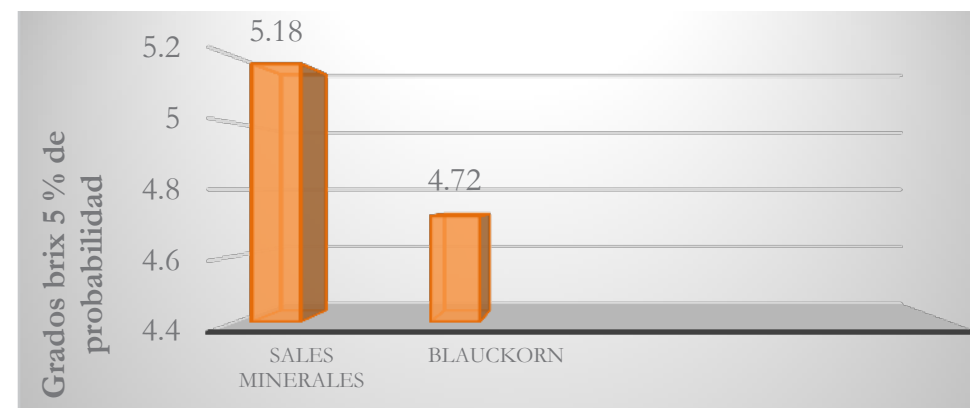


Figura 6. Grados Brix de frutos de tomate en cultivo hidropónico.

Rendimiento por planta en plantas de tomate variedad marglobe

En relación a los términos estadísticos hay variabilidad en el comportamiento del factor (sustrato), es decir en su efecto sobre el rendimiento de frutos por planta. El sustrato escoria volcánica está produciendo mayor rendimiento de frutos por planta de tomate con una media igual a 59.80. Seguido de los sustratos fibra de coco con una media de 50.20 y piedra pómez con media de 45.70, (Fig. 7)

Baldomero H. Zarate Nicolás (2007) en su investigación producción de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) Hidropónico con sustratos bajo invernadero; señala que la competencia que se establece entre los frutos de un mismo racimo tiende a disminuir el tamaño del fruto por inflorescencia (lo cual está estrechamente relacionado con el peso medio del fruto), siendo pequeños los del extremo y más aún en los últimos racimos de la planta.

En la investigación se reportaron 44 frutos promedio por planta en sustrato fibra de coco.

Sin embargo en esta investigación los promedios de rendimiento se encuentran arriba de los rangos mencionados anteriormente; siendo el mejor escoria volcánica con un 59.80 unidades promedio, seguido de fibra de coco con un 50.20 y piedra pómez con 45.70.

Por otra parte si expresamos el resultado por m² en la investigación se empleó una densidad de siembra de tres plantas por m² obtenemos un rendimiento total de 180 frutos lo que representa un peso promedio de 20.50 kg/m².

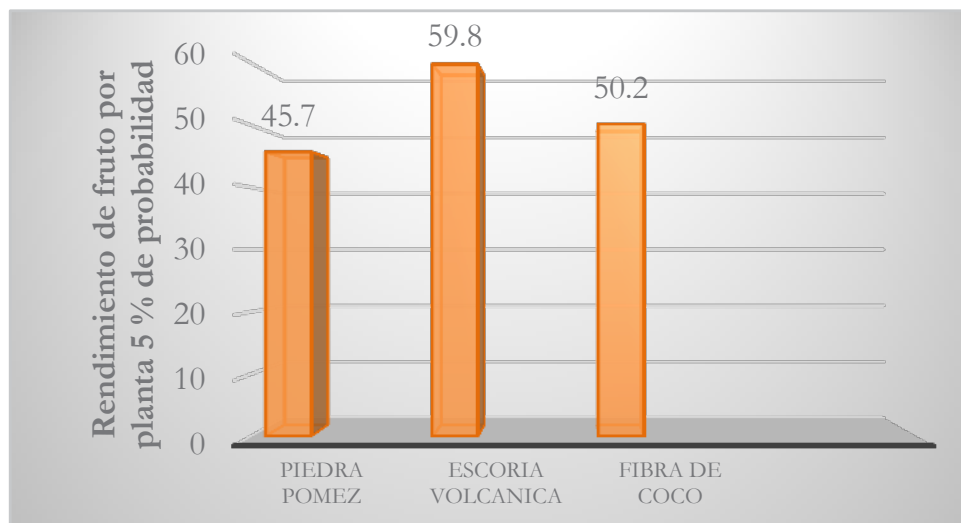


Figura 7. Rendimiento de frutos por planta de tomate en cultivo hidropónico (sustrato).

Fenología del cultivo

La fenología del cultivo inicia cuando emerge y pasa a plántula en el semillero por un espacio de tres a cuatro semanas (20 a 25 días) y cuando tiene una altura adecuada o el primer par de hojas se trasplanta, pasando su etapa vegetativa por unos 30 a 35 días; a los 50 a 60 días inicia la floración. La etapa reproductiva se extiende por unos 32 a 40 días, llegando a la cosecha, que se inicia 65 a 75 días después del trasplante, (Fig. 8)

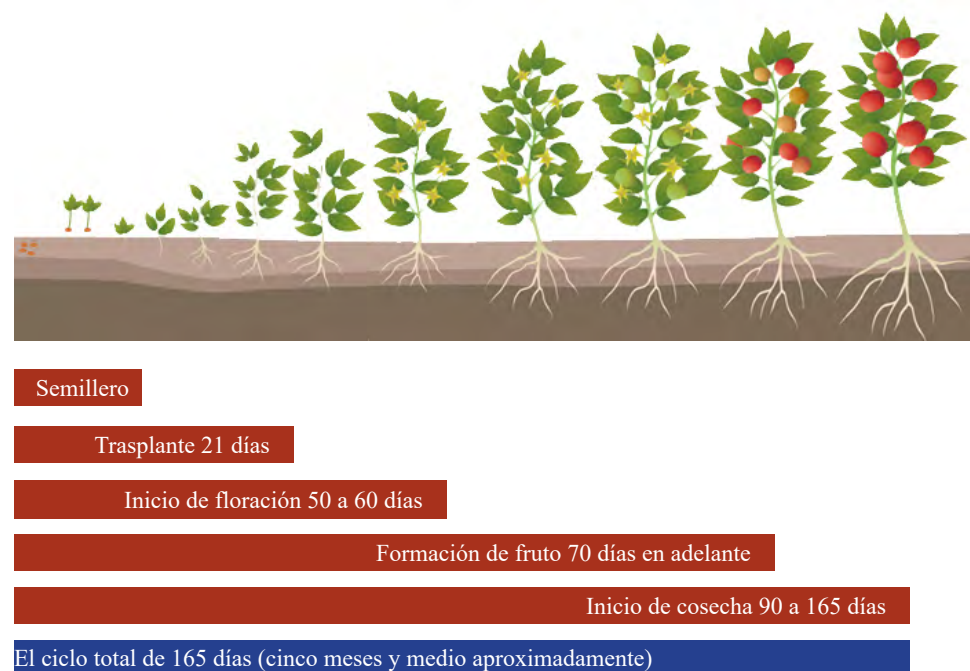


Figura 8. Fenología del cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) variedad marglobe, en invernadero utilizando la técnica de hidroponía en el año 2014-2015

Análisis económico

Presupuesto parcial

El presupuesto parcial muestra en forma organizada los datos experimentales de los costos que varían y los beneficios netos de los tratamientos alternativos de las diferentes combinaciones de fuentes (sales minerales, Blaukorn®) y sustratos (piedra pómez, escoria volcánica y fibra de coco), en el cultivo hidropónico de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) variedad Marglobe, (Cuadro 3).

Cuadro 3. Presupuesto parcial del rendimiento del cultivo de tomate variedad Marglobe, bajo la técnica de hidroponía.

Especificaciones	Tratamientos					
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Rendimiento total (unidades)	275	353	307	182	245	189
Precio de venta de tomates (\$)	0.40	0.40	0.40	0.30	0.30	0.30
Beneficio bruto total (\$)	110	141.2	122.8	54.6	73.5	79.2
Costos que varían (\$)						
Piedra pómez (saco)	3.00	0.00	0.00	3.00	0.00	0.00
Escoria volcánica (cubeta)	0.00	10.50	0.00	0.00	10.50	0.00
Fibra de coco (saco)	0.00	0.00	9.00	0.00	0.00	9.00
Sales minerales (g)	1.11	1.11	1.11	0.00	0.00	0.00
Blaukorn® (g)	0.00	0.00	0.00	2.10	2.10	2.10
Fertilizante foliar	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Fungicida	2.25	2.25	2.25	2.25	2.25	2.25
Mano de obra para la aplicación de riego y aplicación de sales minerales.	4.16	4.16	4.16	4.16	4.16	4.16
Mano de obra para la aplicación de Blaukorn® y fertilizante foliar.	3.16	3.16	3.16	3.16	3.16	3.16
Mano de obra por aplicación de fungicida	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
Total de costos que varían(\$)	17.18	24.68	23.18	18.17	25.67	24.17
Beneficios netos (\$)	86.82	116.52	99.62	36.43	47.83	55.03

En el presupuesto parcial el beneficio bruto es el resultado del producto del rendimiento medio obtenido en unidades de tomate cosechados por tratamiento multiplicados por el precio unitario al que lo adquiere la población en los diferentes mercados y supermercados.

Análisis de dominancia

En el cuadro 4 se presentan los costos que varían, de menor a mayor con su respectivo beneficio neto para cada uno de los tratamientos, y así determinar los tratamientos que presentan efecto de dominancia.

También se puede observar las diferentes combinaciones de las fuentes (sales minerales, Blaukorn®) y los sustratos (piedra pómez, escoria volcánica y fibra de coco), bajo la técnica de hidroponía en el cultivo de tomate. Resultaron dominados los tratamientos T4 y T6 debido a que presentaron beneficios netos muy bajos y a la vez negativos (Ulloa, JA 2010)

El análisis de dominancia a excluido a tres tratamientos alternativos indicando que la curva de beneficio neto (Fig. 9) muestra los puntos de los tratamientos T1, T3 y T2, los cuales no son dominados dentro del análisis de dominancia lo que significa al aplicar las diferentes combinaciones de fuente y sustratos bajo la técnica de hidroponía se puede tener un mayor margen de rentabilidad.

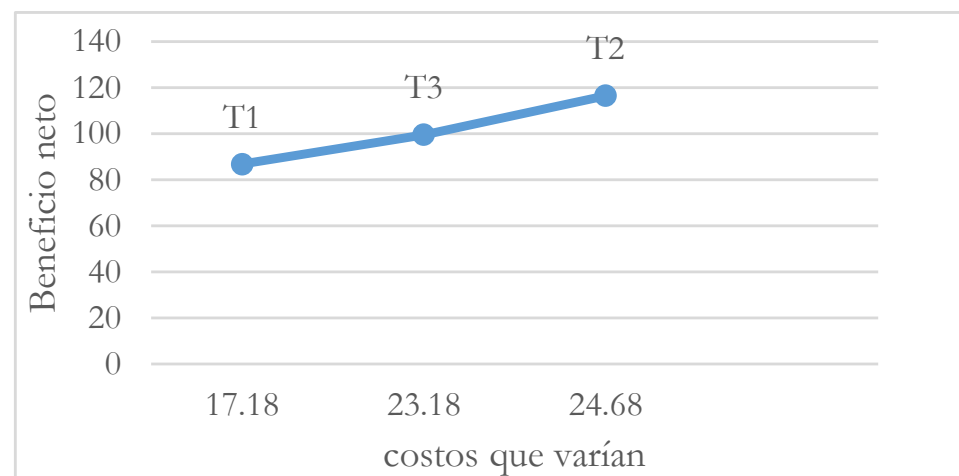


Figura 9. Curva de beneficio neto

Cuadro 4. Análisis de dominancia para los tratamientos en estudio.

Tratamientos	Costos que varían (\$)	Beneficio neto (\$)	Dominancia
T1: Piedra pómez con sales minerales	17.18	86.82	-
T4: Piedra pómez con Blaukorn®	18.17	36.43	D
T3: Fibra de coco con sales minerales	23.18	99.62	-
T6: Fibra de coco con Blaukorn®	24.17	55.03	D
T2: Cascajo volcánico con sales minerales	24.68	116.52	-
T5: Cascajo volcánico Blaukorn®	25.67	47.83	D

Tasa de retorno marginal

Se presentan los tratamientos alternativos que determinan la tecnología a la que puede optar las personas basándose en la tasa de retorno marginal para cultivar tomate bajo la técnica de hidroponía empleando las diferentes combinaciones de fuentes y sustratos (Cuadro 5). En el tratamiento (T3), por cada dólar invertido al cambiar de tecnología el agricultor espera ganar el dólar invertido más \$ 2.13 adicional. Al cambiar del tratamiento T3 (fibra de coco con sales minerales) al tratamiento T2 (escoria volcánica con sales minerales), una alternativa que vale la pena para el productor ya que puede esperar obtener por cada dólar invertido \$ 11.26 adicional.

Para la determinación de los costos por m² o de cuanto se podría emplear por área, se tiene que tener claro los costos del capital invertido, en este caso se la inversión es de \$727.91, esto dividido entre 60 m² que es el área total del invernadero, nos da un total de \$12.13 por cada m² y tenemos un rendimiento de 20.50 kg/m² multiplicado por el precio promedio de mercado de \$ 3.51 kg, nos da un rendimiento total de \$ 72 m² lo que significa que el productor obtendrá \$ 59.87 más por cada m², de acuerdo a al siguiente fórmula:

Fórmula para calcular la tasa de retorno marginal. (TRMg).

$$\text{TRMg} = \frac{\Delta \text{BN}}{\Delta \text{CV}} \times 100 = \frac{\text{BN2} - \text{BN1}}{\text{CV2} - \text{CV1}} = \%$$

$$\text{TRMg} = \frac{99.62 - 86.82}{23.18 - 17.18} \times 100 = \frac{12.80}{6} = 213.33\%$$

$$\text{TRMg} = \frac{116.52 - 99.62}{24.68 - 23.18} \times 100 = \frac{16.9}{1.5} = 1126.66\%$$

Cuadro 5. Tasa de retorno marginal.

Tratamientos	Costos que varían (\$)	Costo marginal (\$)	Beneficio neto (\$)	Beneficio neto marginal (\$)	*TRM (%)
T1: Piedra pómez con sales minerales	17.18		86.82		
		6.00		12.8	213.33%
T3: Fibra de coco con sales minerales	23.18		99.62		
		1.5		16.9	1126.66%
T2: Cascajo volcánico con sales minerales	24.68		116.52		

Conclusiones

La mejor fuente de fertilización en combinación con los sustratos; las sales minerales presentaron los mejores resultados en todas las variables a diferencia del Blaukorn®.

La fibra de coco presentó los mejores resultados en altura de planta, número de flores por planta, peso de frutos y dureza de fruto, en relación a las fuentes de fertilización.

Los mejores rendimientos por planta se obtuvieron en el T2 con un valor de 70 frutos, así como también presentó el mayor beneficio neto obtenido un total de \$116.52, superando al resto de los tratamientos en estudio.

Para el área urbana la técnica de hidroponía, bajo condiciones de invernadero es una alternativa para la producción de tomate.

Se obtiene un mejor aprovechamiento de los insumos agrícolas bajo condiciones de invernadero.

Recomendaciones

Utilizar sales minerales como fuente de fertilización, ya que produce incrementos significativos en cuanto la producción de frutos.

Se recomienda el uso del sustrato fibra de coco ya que este presentó los mejores resultados en cuanto a los otros sustratos en estudio, para la producción en contenedores bajo sistemas hidropónicos.

Implementar la técnica de hidroponía bajo condiciones de invernaderos, ya que se tiene un mejor control de las condiciones climáticas que afectan los cultivos del sistema tradicional.

Bibliografía

- CENTA-KOIKA (Agencia de Cooperación internacional de Korea). 2010. Desarrollo de tecnología hidropónica de hortalizas bajo invernadero. San Salvador, SV. 31 p
- CIMMYT 1988. La formulación de recomendaciones a partir de datos agronómicos: Un manual metodológico de evaluación económica. Edición completamente revisada. México D.F., México: CIMMYT.
- Gordillo Anda, G de. s.f. La agricultura urbana y peri urbana: Alternativas productivas para la seguridad alimentaria (en línea). FAO. Consultado el 12 de octubre de 2012. Disponible en: www.inforural.com.mx/IMG/pdf/Agricultura_urbana.pdf
- Joyar Tiznado, FM de; Barakat Larios, MB. 1994. Evaluación de densidades y variedades de tomate de crecimiento determinado en cultivo hidropónico, utilizando escoria volcánica como sustrato. Tesis Ing. Agroindustrial. San Salvador, SV, universidad Doctor José Matías Delgado. p 130
- Maroto Borrego, JV, 2000. Elementos de horticultura general. Especialmente aplicadas al cultivo de plantas de consistencia herbácea. Madrid, ES. 424 p
- Marulanda, C.2003. La huerta hidropónica popular: curso audiovisual. Santiago, CL, FAO. 132 p.
- Mora, L.1999. Sustratos para cultivos sin suelo o hidroponía. INAGRO, San José, CR. 100p.
- Santiago, j; Mendoza, M; Borrego, F. 1998. Evaluación de tomate *Lycopersicon esculentum*, MILL en invernadero: criterios fenológicos y fisiológicos. Saltillo Coahuila. Mx. 65 p
- SNET (Servicio Nacional De Estudios Territoriales). 2013. Información Climática General. (en línea). San Salvador SV. Consultado el 13 de junio del 2013. Disponible en <http://www.snet.gob.sv/meteorologia/climaelsal.htm>
- Ulloa Erroa, JA. 2010. Evaluación Económica de una Investigación Agropecuaria. Facultad de Ciencias Agronómicas. Universidad de El Salvador. San. Salvador, SV.8 p
- Zarate Nicolás, BH.2007.Produccion de tomate (*lycopersicon esculentum* Mill.).Hidropónico con sustratos, bajo invernadero.(en línea).Oaxaca, MX.consultado el 23 de octubre de 2015.disponible en : [/tesis_maestria_baldomero.pdf](#). 176 p



Simposio Investigación Científica
Facultad de Ciencias Agronómicas
Universidad de El Salvador
17-18-19 de octubre de 2017



Por una soberanía y seguridad alimentaria sostenible





Evaluación del efecto del ácido ascórbico como inhibidor de pardeamiento enzimático en el fruto de anona pulpa rosada (*Annona diversifolia*) y en la cinética de la polifenoloxidasas.

Evaluation of ascorbic acid effect as enzymatic browning inhibitor in pink pulp anona fruit (*Annona diversifolia*) and on the polyphenol oxidase kinetics

Pardo-Valencia GA
Tesisista, Departamento de Fitotecnia,
Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador.
Correo electrónico: gerardopardo_@hotmail.com

Méndez-Martínez SU
Tesisista, Departamento de Fitotecnia,
Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador.

González-Rosales SO
Docente Director,
Departamento de Fitotecnia, Facultad de Ciencias Agronómicas,
Universidad de El Salvador.

Solano-Melara NS
Docente Director, Departamento de Química Agrícola,
Universidad de El Salvador.



Resumen

El estudio se realizó en las instalaciones de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador, de agosto de 2016 a febrero de 2017, desarrollándose en dos etapas. En la primera se extrajo la pulpa de las anonas para hacer un puré, el cual se utilizó como representación de la pulpa que queda expuesta al rajarse de forma natural; se aplicaron concentraciones de ácido ascórbico a 0.50%, 0.70% y 0.90% (p/v) como tratamientos y uno como control al cual no se aplicó ácido ascórbico. Las unidades experimentales se almacenaron a 12 ± 1 °C durante 13 días; se tomaron lecturas de pH, acidez titulable y análisis sensorial al puré de anona, determinándose que la vida estante del puré de anona sin antioxidante es de 8 días, mientras que los tres tratamientos con ácido ascórbico extendieron la vida estante a 11 días. La segunda parte comprendió el estudio cinético de la polifenoloxidasas de anona y el efecto de tres soluciones de ácido ascórbico (0.5, 0.7 y 0.9 mM) en la misma por medio de espectrofotometría, utilizando catecol como sustrato; los parámetros cinéticos de la polifenoloxidasas sin ácido ascórbico fueron de $K_m=3.64$ mM/L, $V_{max}=0.160$ mM*L⁻¹*min⁻¹ y su eficiencia catalítica (V_{max}/K_m) de 0.044 a 14°C y pH de 6.1. En cuanto a los porcentajes de acción antioxidante, los tratamientos de ácido ascórbico no presentaron diferencias entre sí ($F_{2,71}=3.05$; $P=0.0536$), pero hubo diferencias significativas entre las concentraciones de catecol ($F_{7,71}=33.26$; $P<0.0001$) evaluado con un $P=0.05$, mostrando el porcentaje más alto en la concentración más baja de catecol (1 mM), siendo de 51.45% (E.E=3.33) expresado como media ajustada de los tres tratamientos.

Palabras clave: *Annona, diversifolia*, Saff., anona, pardeamiento, enzimático, polifenoloxidasas, ácido ascórbico, inhibición, catecol.

Abstract

The study was executed at Agricultural Science Faculty of El Salvador University, from August 2016 to February 2017; it was developed on two stages. In the first part, the anona pulp was extracted to make a puree, which was used as a representation of the pulp exposed when the shell is naturally cracked. Ascorbic acid solutions at 0.50%, 0.70% and 0.90% (w/v) were used as treatments and a treatment with no ascorbic acid application used as control. The experimental units were stored at 12 ± 1 °C for 13 days while titratable acidity, pH and organoleptic characteristics of anona puree were measured; the shelf life of the anona puree without antioxidant was 8 days, meanwhile the three treatments with ascorbic acid extended the shelf life to 11 days. The second part comprised the kinetic study of anona polyphenoloxidase and the effect of three solutions of ascorbic acid (0.5, 0.7 and 0.9 mM) on it by means of spectrophotometry, using catechol as substrate; the kinetic parameters of polyphenoloxidase without ascorbic acid were $K_m=3.64$ mM/L, $V_{max}=0.160$ mM*L⁻¹*min⁻¹ and its catalytic efficiency (V_{max}/K_m)=0.044 at 14°C and pH=6.1. Ascorbic acid levels did not show any differences ($F_{2,71}=3.05$; $P=0.0536$), but there were significant differences between catechol concentrations ($F_{7,71}=33.26$; $P<0.0001$) tested with a $P=0.05$, showing the highest percentage in the lowest concentration of catechol (1 mM), being 51.45% (EE=3.33) expressed as adjusted average of the three treatments.

Key words: *Annona, diversifolia*, Saff., anona, fruit, enzymatic, browning, polyphenol oxidase, ascorbic acid, inhibition, catechol.

Introducción

En El Salvador se encuentran nueve especies diferentes de anonas, siendo las más comunes y de mayor importancia económica la anona rosada (*Annona diversifolia* Saff.), la chirimoya (*Annona cherimola* Mill.), la sincuya (*Annona purpurea* Moc.) y la guanábana (*Annona muricata* L.) (Cruz Pineda 2003). A pesar que muchas personas gustan de la anona rosada (*Annona diversifolia* Saff.), no se encuentra desarrollada como un cultivo comercial y es plantada generalmente en los patios de las casas, solamente como una planta de recolección, siendo su índice de cosecha cuando los frutos se abren en el árbol (Irigoyen 2004).

Mayer (1987), citado por Sallés (2007) menciona que las frutas y vegetales son afectadas por el pardeamiento enzimático durante el crecimiento, cosecha, almacenamiento y procesado, siendo un problema de primera magnitud en la industria alimentaria y reconocido como una de las principales causas de pérdida de la calidad y valor comercial. Según Bello Gutiérrez (2000), el pardeamiento enzimático es una alteración química, aunque enzimática en sus primeras etapas, que tiene como sustratos a los compuestos fenólicos que se transforman en estructuras poliméricas poco aclaradas, por lo general con coloraciones oscuras o pardas. La enzima que cataliza el pardeamiento tiene varios nombres comunes: fenolasa, fenoloxidasa, tirosinasa, polifenoloxidasa, catecolasa, la cual se encuentra presente en tejidos animales y vegetales (Herrera Ramírez 2003). En las plantas, la enzima es mayormente conocida como polifenoloxidasa (Guerrero 2009). Para que se produzca este pardeamiento, es necesario la presencia de tres componentes: enzima, sustrato y oxígeno. Según Denoya *et al.* (2012), actualmente se puede hacer muy poco con el sustrato oxidable; los métodos hoy en uso tienden a inhibir la enzima o a eliminar el oxígeno y algunas veces se combinan ambos métodos. Agentes reductores, antioxidantes e inhibidores enzimáticos previenen químicamente el pardeamiento, ya sea reduciendo las ortoquinonas coloreadas a difenoles incoloros, inhibiendo la actividad de la enzima por disminución del pH o quelando el Cu^{++2} del sitio activo de la enzima (Gasull y Becerra 2006).

La velocidad de una reacción catalizada por una enzima puede medirse con relativa facilidad por medio de la cinética enzimática; estos estudios proporcionan información directa acerca del mecanismo de la reacción catalítica y de la especificidad de la enzima frente a diferentes tipos de sustratos y agentes químicos antipardeamiento. Se conocen dos tipos principales de inhibición: la reversible y a la irreversible; según Gago (2008), la primera implica una unión “no covalente” del inhibidor y, por lo tanto, siempre puede revertirse; en la inhibición irreversible, el inhibidor se une al enzima de forma “covalente” y permanente.

El propósito de la investigación está orientado a contribuir al manejo poscosecha del fruto de anona, por medio de la aplicación de soluciones de ácido ascórbico para controlar el pardeamiento de la pulpa ocasionado por enzimas oxidoreductasas como la polifenoloxidasa, que disminuyen la calidad de la anona, ya que El

Salvador enfrenta grandes retos en mejorar la seguridad alimentaria, no solo como una exigencia moral sino como una condición previa para alcanzar su desarrollo sostenible.

Materiales y Métodos

Descripción del estudio

El estudio se realizó de agosto de 2016 a febrero de 2017, desarrollándose en dos etapas:

En la primera etapa se cosecharon las anonas de un mismo lote de la Hacienda Santa Bárbara del cantón Cerco de Piedra, municipio de Rosario de Mora, departamento de San Salvador, El Salvador. Sus coordenadas geográficas son las siguientes: 13° 35' 14" LN (extremo septentrional) y 13° 28' 48" LN (extremo meridional); 89° 11' 04" LWG (extremo oriental) y 89° 13' 57" LWG (extremo occidental) a 76 metros sobre el nivel del mar. Después se trasladaron al laboratorio de Protección Vegetal, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador. Se extrajo la pulpa de las anonas para hacer un puré, el cual se utilizó como representación de la pulpa que queda expuesta al rajar la cáscara de la fruta; se aplicaron concentraciones de ácido ascórbico a 0.50%, 0.70% y 0.90% (p/v) como tratamientos, y se utilizó como testigo un tratamiento al cual no se aplicó ácido ascórbico. Se almacenó el puré de anona por 13 días a una temperatura de $12 \pm 1^\circ\text{C}$.

En la segunda etapa se extrajo la Polifenoloxidasa (PPO) del fruto de anona rosada (*Annona diversifolia* Saff.) para determinar sus parámetros cinéticos (K_m y V_{max}) utilizando catecol como sustrato a diferentes concentraciones. También se evaluó el efecto del ácido ascórbico a tres concentraciones (0.5 mM, 0.7 mM y 0.9 mM) y un blanco o testigo al cual no se aplicó ácido ascórbico. Esta etapa se desarrolló en el laboratorio de Investigación de Suelos del departamento de Química Agrícola de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador.

Metodología de Campo

Recolección de anonas para el estudio

La recolección de los frutos se realizó de forma manual, utilizando un cosechador para no dañar la cáscara del fruto. El índice de cosecha que se utilizó es cuando el fruto empieza a abrirse, de lo contrario el fruto no alcanza su madurez de consumo

Preparación de pulpa

Recepción de materia prima: las anonas (*Annona diversifolia* Saff.) maduras se inspeccionaron, se pesaron y almacenaron hasta el momento de su procesamiento.

Lavado: las anonas se sumergieron en solución de hipoclorito de sodio (NaClO) a 200 ppm para eliminar microorganismos patógenos.

Pelado: se eliminó en su totalidad la cáscara y las semillas de las anonas lo más rápido posible para evitar el pardeamiento enzimático.

Despulpado: En esta etapa se homogenizó la pulpa en licuadora previamente refrigerada y se agregó al puré de anona sorbato de potasio ($C_6H_7KO_2$) al 0.2 % p/v grado alimenticio como conservante (Menjívar y Vanegas 2014).

Invasado: el puré se colocó en tarros de boca ancha con capacidad de 20 gramos. Cada contenedor se identificó según el tratamiento evaluado.

Aplicación de antioxidantes: se aplicó un promedio de 0.8 ml de solución antioxidante mediante el uso de un atomizador en la superficie del puré de anona de cada muestra.

Almacenamiento en refrigeración: el puré se almacenó a $12 \pm 1^\circ C$ durante 13 días, tiempo en el que se realizaron lecturas de pH, acidez titulable y análisis sensorial.

Desarrollo de panel sensorial

La capacitación de los jueces que conformaron el panel entrenado para el análisis sensorial de la anona, comprendió las etapas siguientes:

Etapas de preselección: se invitaron a participar como voluntarios para conformar el panel sensorial a estudiantes de 4º a 5º año y egresados de la carrera de Ingeniería Agroindustrial de la Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador. Se seleccionaron ocho mujeres y ocho hombres a los que se les tomó los datos de su información personal como nombre, edad, sexo, estado de salud, su frecuencia de consumo de anona, hábitos alimentarios, si fuma, consume bebidas alcohólicas, café, condimentos y alimentos que puedan dañar su sentido del gusto.

Etapas de selección: consistió en dos pruebas para percepción de sabores y dos pruebas para diferenciar escalas de colores similares al de la pulpa de anona:

Prueba 1: Prueba de sensibilidad a los sabores básicos para determinar los Umbrales de sabor.

Prueba 2: Capacidad para identificar sabores y ordenar intensidades.

Prueba 3: Habilidad para diferenciar escalas de color.

Prueba 4: fue réplica de la prueba 3, para diferenciar escalas de color.

Etapas de entrenamiento: de las etapas anteriores se seleccionó un grupo de diez personas. Para el entrenamiento los panelistas degustaron anona rosada y anona blanca (*Annona diversifolia* Saff.) para que conocieran las características organolépticas que tiene cada variedad; por consenso determinaron cada descriptor de sabor y color para la elaboración del perfil de anona.

Metodología de Laboratorio

Evaluación de la pulpa de anona

Se evaluó la pulpa de anona (*Annona diversifolia* Saff.) con diferentes concentraciones de ácido ascórbico (0.00, 0.50, 0.70 y 0.90% p/v) y se sometió a una temperatura de almacenamiento de $12 \pm 1^\circ C$ durante 13 días, en los que se

tomaron medidas de pH y acidez titulable por duplicado, evaluando a la vez sus características organolépticas. Las lecturas se tomaron en los días 0, 4, 8, 11 y 13 de almacenamiento, teniendo cuatro repeticiones por tratamiento.

Método para determinar el pH (AOAC 1980)

Procedimiento realizado (AOAC 1980):

Colocar la muestra en un vaso de precipitado.

Cerciorarse que la temperatura este a $20^\circ C$.

Sumergir la membrana de vidrio del pH-metro.

Tomar la lectura cuando se establezca la medida.

Método para determinar la acidez titulable (AOAC 1980)

Procedimiento realizado (AOAC 1980):

Tomar 10 ml de muestra.

Enrasar a 50 ml con agua destilada.

Titular con una solución de NaOH 0.1 N utilizando azul de bromotimol como indicador, hasta que vire de amarillo a azul.

Calcular la acidez titulable utilizando la siguiente fórmula:

$$\%AT = \frac{V * N * E}{A} * 100$$

Dónde:

V: ml de NaOH gastados en titulación

N: Normalidad del NaOH

E: Miliequivalente

A: Gramos o ml de muestra

Análisis sensorial

El panel sensorial conformado por diez jueces entrenados, cinco mujeres y cinco hombres, utilizó la siguiente escala de intensidad para el análisis: 5=extrema, 4=grande, 3=media, 2=ligera, 1=casi imperceptible y 0=ausencia total (de indicación obligada). El perfil se desarrolló con datos promedios de los jueces participantes; además, se incluyó la evaluación general del puré sobre la aptitud de la muestra para consumo.

Cinética de la polifenoloxidasas de anona (*Annona diversifolia* Saff.)

El siguiente procedimiento es una adaptación de los métodos descritos por Boyer citado por Miller (2003) y Amaya *et al.* (2008):

Al recibir las anonas (*Annona diversifolia* Saff.), se mantuvieron en refrigeración a 4 °C durante 24 horas antes de obtener el extracto acuoso de la Polifenoloxidasa.

Extracción de la enzima Polifenoloxidasa:

El procedimiento se hizo a 4 °C. Se retiró la cáscara y semillas a los frutos de anona, después fueron cortados y homogenizados con una licuadora común.

Posteriormente se pesaron 20 g de pulpa en una balanza analítica y se mezclaron con 100 ml de buffer fluoruro de sodio 0.1 M (0.1M de Na₂HPO₄ y 0.1M NaF, pH=5.7), esta mezcla fue licuada durante 1 minuto aproximadamente y se centrifugó a 4500 rpm a 4 °C durante 10 minutos en una centrífuga refrigerada marca Thermo® IEC Centra CL3R.

El precipitado resultante fue filtrado a través de un algodón estéril y posteriormente se efectuó una segunda filtración con un filtro Whatman™ No.42 (110 µm Ø) para eliminar la turbidez del extracto. El extracto se mantuvo a 4°C en refrigerador marca LG GT46HGP.

Estudio cinético

El estudio cinético se realizó mediante espectrofotometría, analizando el efecto inhibitorio de tres soluciones de ácido ascórbico sobre la Polifenoloxidasa en dicha reacción. Las soluciones fueron las siguientes 0.00 mM, 0.5 mM, 0.7 mM y 0.9 mM de ácido ascórbico.

Se tomó lecturas de absorbancia a 420 nm en intervalos de 15 segundos durante 2.5 minutos, usando Catecol como sustrato a diferentes concentraciones en solución buffer fosfato de sodio 0.2M Na₂HPO₄ y pH=6.1. Todas las medidas de velocidad inicial se tomaron por duplicado a 14 °C.

Se tuvo un blanco con 2.5 ml del buffer fosfato de sodio (0.2M Na₂HPO₄, pH=6.1) y 0.5 ml de extracto enzimático.

Se preparó el espectrofotómetro (marca Thermo® Spectronic Genesys 20) a 420 nm, llevando a cero de absorbancia con la solución preparada como blanco. La reacción fue iniciada adicionando el extracto enzimático al tubo que contenía el regulador fosfato de sodio, el Catecol y el inhibidor; se mezcló y se tomó la lectura inmediatamente a intervalos de 15 segundos durante 2.5 minutos para cada tubo.

Para cada concentración de catecol se calculó la velocidad de reacción por minuto, utilizando la siguiente fórmula:

$$V = \frac{\Delta A}{\sum b \Delta t}$$

Donde:

Ac= Absorbancia tomada luego de haber transcurrido un minuto de la muestra control o testigo.

At= Absorbancia tomada luego de haber transcurrido un minuto de la muestra del tratamiento.

Metodología Estadística

Para los datos provenientes de las pruebas organolépticas, se ajustó un modelo lineal generalizado mixto con distribución multinomial y función de enlace acumulativa para cada descriptor de color y sabor, considerando siempre a los evaluadores como factores aleatorios. Los modelos fueron ajustados utilizando la función *clmm()* del paquete ordinal (Christensen 2015), las tablas de análisis de varianza fueron obtenidas con la función *Anova()* del paquete car (Fox y Weisberg 2011); también se realizaron comparaciones pareadas con la prueba HSD de Tukey obtenidas mediante el paquete *lsmeans* (Lenth 2016), a un nivel de significancia del 5%. Los análisis se llevaron a cabo en el programa *R* versión 3.3.2 (RCT 2016).

La inhibición de la enzima polifenoloxidasa fue evaluada aplicando un modelo lineal mixto en el porcentaje de inhibición enzimática, tomando como factor aleatorio los frutos de los cuales se obtuvo la pulpa, a un nivel de significancia del 5%. El modelo fue ajustado utilizando el programa InfoStat versión 9.0.

Resultados y Discusión

Análisis fisicoquímico

Acidez Titulable:

Los valores de acidez presentaron una tendencia a la alza desde 0.23 hasta 0.58 mg/100 g de ácido cítrico a lo largo de 13 días; siendo similares entre tratamientos sin verse afectados por la adición de ácido ascórbico aplicados según se observa en la figura 1.

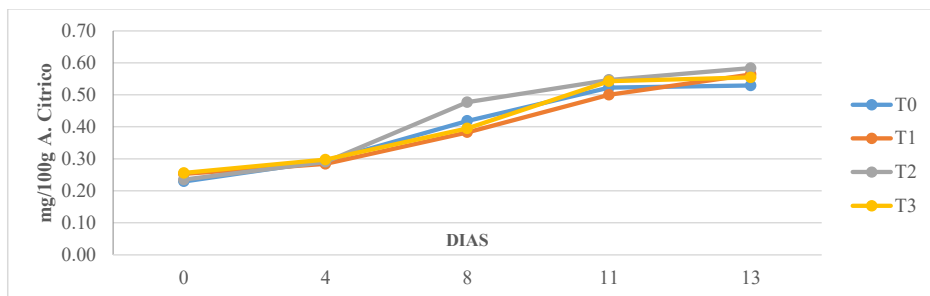


Figura 1. Comportamiento de la acidez titulable de la anona (*Annona diversifolia* Saff.) con la adición de ácido ascórbico, en un periodo de 13 días a una temperatura de $12 \pm 1^\circ\text{C}$.

T0= pulpa sin antioxidante.
 T1= pulpa con solución AA al 0.50% p/v
 T2= pulpa con solución AA al 0.70% p/v
 T3= pulpa con solución AA al 0.90% p/v

Comportamiento del pH:

El pH en pulpa de anona se comportó a la baja (Fig. 2), presentado un rango que va desde 5.05 hasta 4.78 a los 13 días de evaluación, a una temperatura de $12 \pm 1^\circ\text{C}$. Los tratamientos de ácido ascórbico (0.5%, 0.7% y 0.9% p/v) mostraron un comportamiento similar. El efecto enzimático actuó con total normalidad, ya que según Materano *et al.* (2004) los niveles pH en la que la enzima reduce su actividad se encuentra por debajo de 3.8.

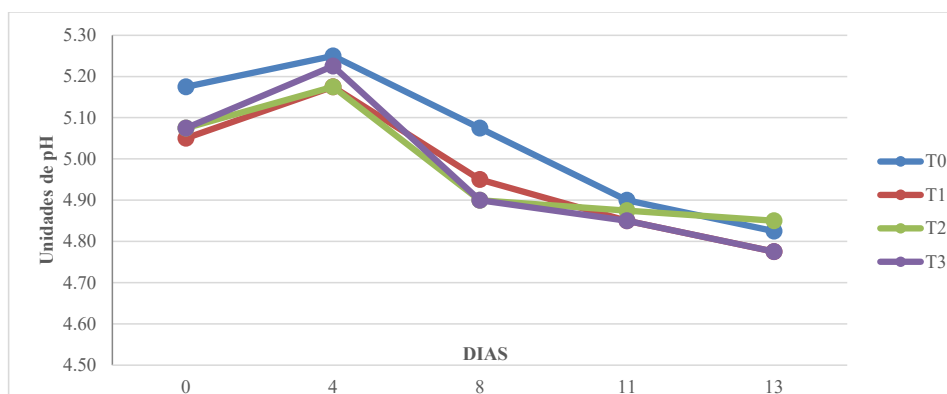


Figura 2. Comportamiento del pH de la anona (*Annona diversifolia* Saff.) con la adición de ácido ascórbico, en un periodo de 13 días a una temperatura de $12 \pm 1^\circ\text{C}$.

T0= pulpa sin antioxidante.
 T1= pulpa con solución AA al 0.50% p/v
 T2= pulpa con solución AA al 0.70% p/v
 T3= pulpa con solución AA al 0.90% p/v

Determinación de vida estante

Mediante la boleta de evaluación se pidió a cada panelista que emitieran su opinión en cuanto aceptabilidad del atributo oscurecimiento. Cuando este alcanzase notas igual o mayor a 4 (percepción “Fuerte” del atributo), esto indicaba que la muestra ya no era agradable para el juez. De esta manera se determinó el tiempo de vida estante del puré.

En la figura 3 se muestra el comportamiento del cambio de color que fue de tonos rosados claros a cafés oscuros, causado por la oxidación de la polifenoloxidasas. Se observa una similitud entre los cuatro tratamientos para los mismos días de evaluación. El tratamiento testigo (T0) alcanzó la calificación 4 (percepción “Fuerte” del atributo) en el día 8 en cuanto a la intensidad del oscurecimiento y obtuvo las calificaciones más altas a comparación de los tratamientos con ácido ascórbico (T1, T2 y T3) durante los 11 días.

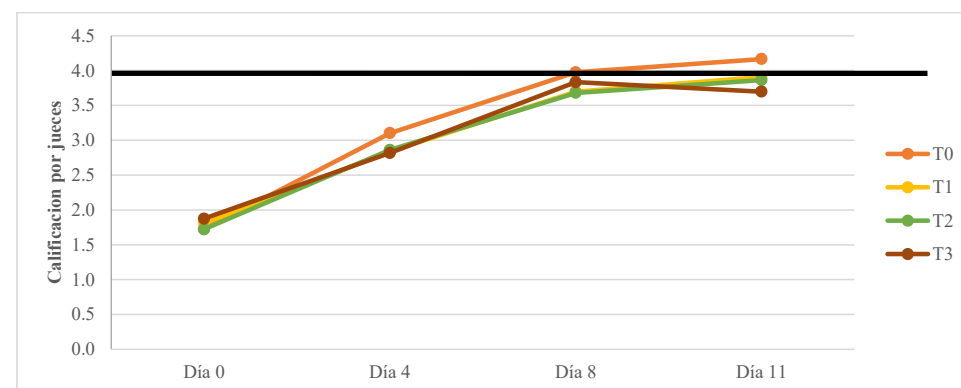


Figura 3. Comportamiento del atributo oscurecimiento durante 11 días a temperatura de $12 \pm 1^\circ\text{C}$, para determinar vida estante en anona (*Annona diversifolia* Saff.).

T0= pulpa sin antioxidante.
 T1= pulpa con solución AA al 0.50% p/v
 T2= pulpa con solución AA al 0.70% p/v
 T3= pulpa con solución AA al 0.90% p/v

En la figura 4 se presenta el comportamiento de cada uno de los tratamientos durante un periodo de 11 días a temperatura de 12 ± 1 °C, en puré anona (*Annona diversifolia* Saff.) evaluado por panelistas entrenados.

Según los criterios emitidos por los diez panelistas en puré de anona para los cuatro tratamientos (0.00, 0.50, 0.70 y 0.90% p/v) de ácido ascórbico, los panelistas percibieron diferencias para las variables sensoriales: ácido y amargo; con el paso del tiempo estos atributos mostraron una tendencia a ser más perceptibles. Mientras tanto, para otros atributos como sabores frutado y dulce presentaron una tendencia totalmente diferente, ya que a medida pasaban los días su intensidad fue reduciéndose. Finalmente los sabores que no generaron mayor relevancia en el estudio debido a su poca o nula percepción en las muestras, son los descriptores fermentado y salado (Fig. 4).

La figura 4 presenta una similitud entre los perfiles del puré de anona de los cuatro tratamientos evaluados; pero se observa que el panel de catación identificó diferencias en la percepción de las características organolépticas del fruto a lo largo del tiempo.

Análisis estadístico de la percepción de los descriptores

Ácido

El análisis sensorial realizado al puré de anona, mostró diferencias significativas de acuerdo a la adición de soluciones de ácido ascórbico en diferentes concentraciones ($\chi^2_3=10.72$, $P=0.013$). Conforme avanzaron los días después de la preparación de las muestras, las diferencias en acidez de las muestras fueron significativamente diferentes ($\chi^2_3=9.70$, $P=0.0212$). La interacción de tratamientos y días presentaron diferencias significativas ($\chi^2_9=30.3$, $P=0.0003$) para el atributo “ácido”.

Amargo

El análisis sensorial realizado al puré de anona, no mostró diferencias entre muestras presentadas de acuerdo a la adición de soluciones de ácido ascórbico en diferentes concentraciones ($\chi^2_3=5.15$, $P=0.1611$). Conforme avanzaron los días después de la preparación de las muestras, las diferencias en amargo fueron significativamente diferentes ($\chi^2_3=37.23$, $P=4.10e^{-08}$). La interacción de tratamientos y días no presentaron diferencias significativas ($\chi^2_9=2.74$, $P=0.9736$) para el atributo “amargo”.

Dulce

El análisis sensorial realizado al puré de anona, para el atributo dulce no mostró diferencias entre muestras presentadas de acuerdo a la adición de soluciones de ácido ascórbico en diferentes concentraciones ($\chi^2_3=0.056$, $P=0.81$).

Conforme avanzaron los días después de la preparación de las muestras, las diferencias en cuanto al descriptor dulce fueron significativamente diferentes

($\chi^2_3=46.40$, $P=9.620e^{-12}$). En cuanto a la interacción de tratamientos y días no presentaron diferencias significativas ($\chi^2_9=0.4556$, $P=0.5043$) para el atributo “dulce”.

Frutado

El análisis sensorial realizado al puré de anona, para el atributo frutado no mostró diferencias entre muestras presentadas de acuerdo a la adición de soluciones de ácido ascórbico en diferentes concentraciones ($\chi^2_3=1.18$, $P=0.7567$).

Conforme avanzaron los días después de la preparación de las muestras, las diferencias en el descriptor frutado fueron significativamente diferentes ($\chi^2_3=256.19$, $P=3.00e^{-55}$). En cuanto a la interacción de tratamientos y días no presentaron diferencias significativas ($\chi^2_9=8.21$, $P=0.5128$) para el atributo “dulce”.

Cinética de la Polifenoloxidasa de anona (*Annona diversifolia* Saff.)

Comportamiento de Polifenoloxidasa de anona sin antioxidante

Las absorbancias de la oxidación del Catecol (sustrato) con Polifenoloxidasa de Anona se relacionaron con el tiempo y se determinó el valor de la velocidad de reacción para cada concentración de sustrato. Éstas presentaron una relación hiperbólica a medida aumentaba la concentración del sustrato (Fig. 5-A). Según Miller (2003), las enzimas que presentan esta relación obedecen la cinética de Michaelis-Menten, observándose que a bajas concentraciones de sustrato, la velocidad está relacionada en forma casi lineal con la concentración de sustrato, mientras que a concentraciones altas de sustrato, la velocidad casi no es afectada por los cambios de concentración del sustrato formándose una hipérbola.

Los parámetros cinéticos obtenidos a partir de la gráfica Lineweaver-Burk (Fig. 5-B) fueron $K_m=3.64$ mM/L, $V_{max}=0.160$ mM*L⁻¹*min⁻¹ y su eficiencia catalítica (V_{max}/K_m) de 0.044. Donde V_{max} indica el número de moléculas de sustrato que se convierten en producto por unidad de tiempo y K_m es igual a la concentración del sustrato a la cual la rapidez de la reacción es la mitad de su valor máximo (Miller 2003). El valor de K_m hallado en este estudio fue muy similar a las cinéticas de PPO en pulpa sin refinar de “banano” *Musa acuminata* × *balbisiana* (Chong 2009) y en “rúcula” *Eruca sativa* (Landi 2013) 3.77 mM/L y 4.16 mM/L respectivamente.

El efecto del ácido ascórbico sobre la polifenoloxidasa ha sido polémico en los últimos años; se ha estudiado su efecto mayormente por su amplio uso en la industria de alimentos (Guerrero 2009). Algunos informes atribuyen su acción a la reducción de las quinonas formadas a los difenoles incoloros originales; otros consideran al ácido ascórbico como un inhibidor de PPO (Pizzocaro 1993). Sin embargo, la condición requerida para poseer cada mecanismo no está definida.

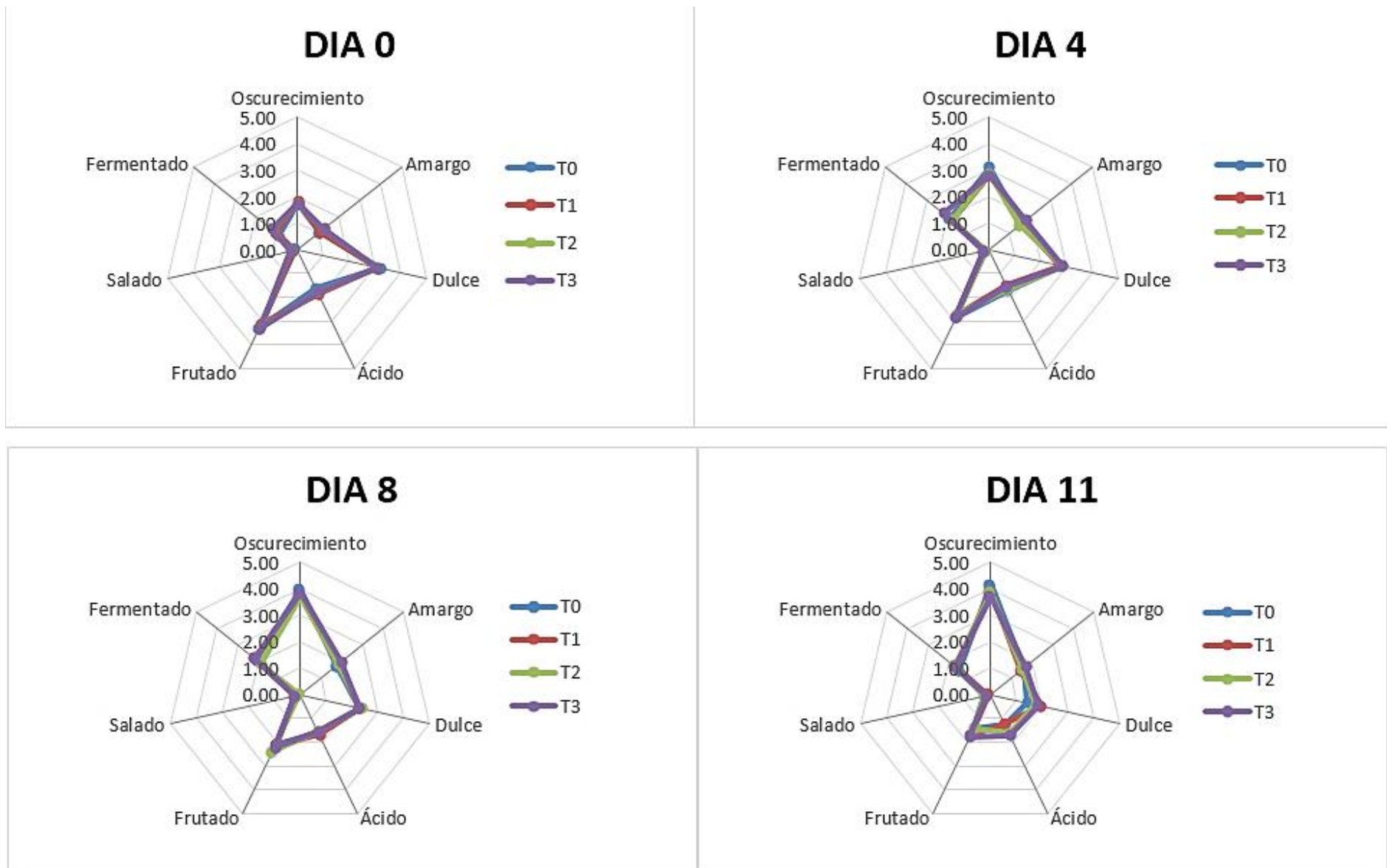


Figura 4. Comportamiento de los tratamientos a través del tiempo.

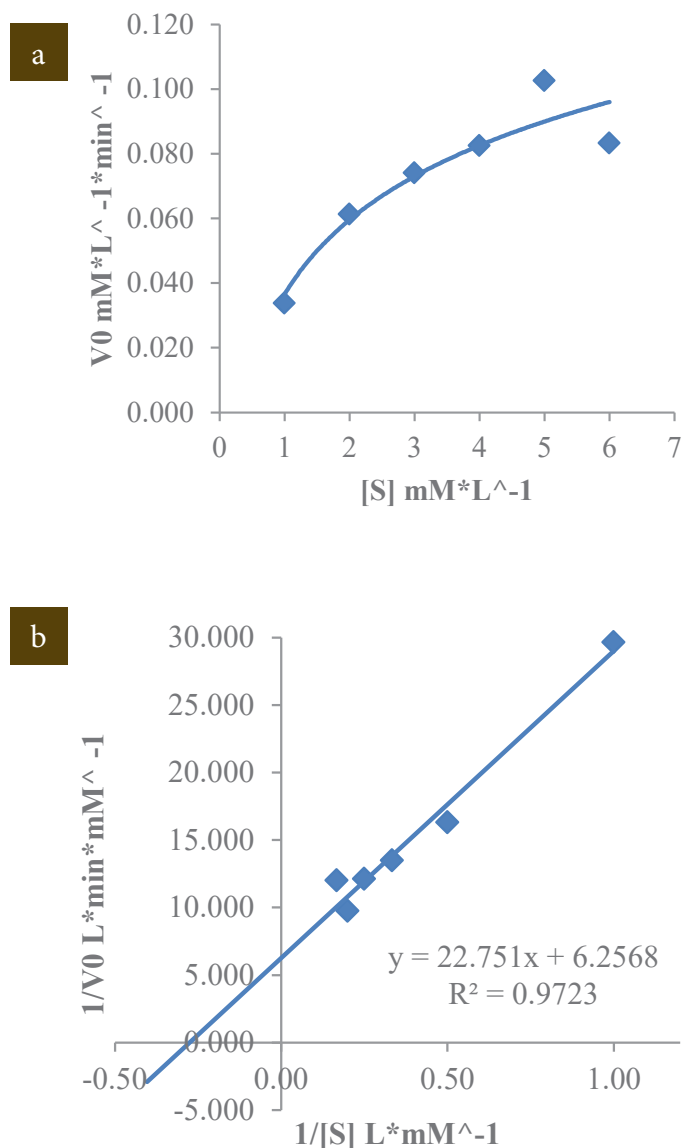


Figura 5. Gráficos de Michaelis-Menten (A) y Lineweaver-Burk (B) para la cinética de Polifenoloxidasas de anona (*Annona diversifolia* Saff.) a 14 °C y pH=6.1.

El cálculo de las constantes de Michaelis (K_m) y las velocidades máximas (V_{max}) de la Polifenoloxidasas en presencia de Ácido Ascórbico (AA) a concentraciones de 0.5mM, 0.7mM y 0.9mM mostraron valores negativos (cuadro 1).

Los parámetros cinéticos (K_m y V_{max}) indican la afinidad de la enzima hacia el sustrato; al estar la PPO en presencia de un inhibidor como el ácido cítrico o EDTA por ejemplo, el menor valor que pueden tomar K_m y V_{max} es 0, ya que los inhibidores actúan directamente en la enzima, disminuyendo o deteniendo su catálisis.

En cuanto al ácido ascórbico, algunos autores asumen que no inhibe directamente la PPO, sino que es capaz de reducir las o-quinonas generadas por la enzima al difenol original, limitando el pardeamiento a través de un proceso conocido como reacción de desactivación, por lo que es catalogado como un antioxidante (Landi 2013 y Ali 2014); sin embargo, este confiere una protección temporal por oxidarse a ácido dehidroascórbico (DHAA), en el proceso de pardeamiento, permitiendo que la quinona se acumule y tenga un efecto contrario (Guerrero 2009).

Conociendo su efecto, puede plantearse la hipótesis que debido a que el ácido ascórbico reacciona de manera opuesta a la enzima (Fig. 6), al ser mayor su efecto para reducir la quinona que la acción de la PPO por producirla, justifica que los tratamientos con ácido ascórbico evaluados en este estudio muestran valores negativos de K_m y V_{max} .

Cuadro 1. Parámetros cinéticos para los tratamientos en estudio de ácido ascórbico sobre la polifenoloxidasas de anona (*Annona diversifolia* Saff.) a 14 °C y pH=6.1.

Parámetros cinéticos	Control	0.5 mM de AA	0.7 mM de AA	0.9 mM de AA
K_m (mM/L)	3.64	-74.14	-31.44	-9.91
V_{max} (mM*L ⁻¹ *min ⁻¹)	0.160	-1.534	-0.594	-0.125

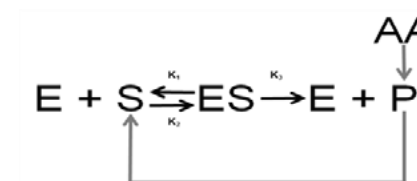


Figura 6. Efecto del ácido ascórbico sobre la quinona formada en la reacción enzimática.

Tipo de inhibición del ácido ascórbico sobre la Polifenoloxidas (PPO)

El análisis por medio de la representación de los dobles inversos de las distintas rectas de los tratamientos (Fig. 7), muestra que el ácido ascórbico presenta una similitud al mecanismo de inhibición de tipo competitivo, con la diferencia que las distintas rectas no interceptan en el mismo punto (para $X=0$).

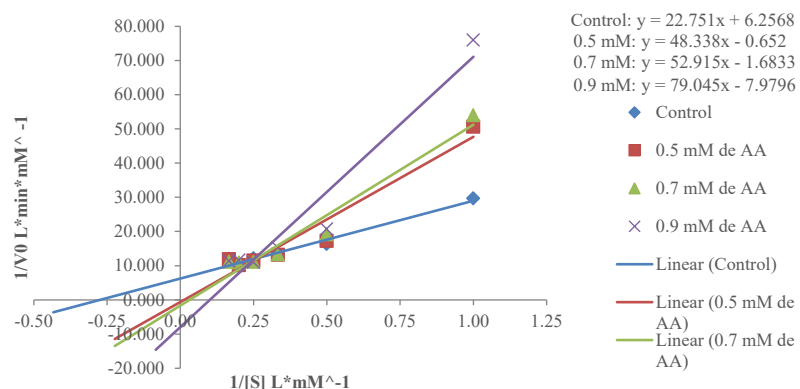


Figura 7. Gráfico Lineweaver-Burk de los tratamientos de ácido ascórbico sobre la polifenoloxidas de anona (*Annona diversifolia* Saff.) a 14 °C y pH=6.1.

Algunos autores han encontrado una inhibición competitiva ejercida por el ácido ascórbico en PPO de menta (Kavrayan 2001) y de PPO de alcachofa (Aydemir 2004). Por otra parte, para que un agente antipardeamiento actúe como inhibidor competitivo, debe cumplir con lo siguiente:

- Ser una sustancia similar en estructura al sustrato, para competir por el sitio activo de la enzima.

- En la representación del gráfico Lineweaver-Burk las distintas rectas deben cortar en el mismo punto de $1/V_{\max}$ (para $X=0$), indicando que la V_{\max} permanece constante independientemente de utilizar diferentes concentraciones del mismo inhibidor; además, existen varios puntos de corte en $-1/K_m$ cuando $Y=0$, por tanto aparentemente varias K_m , que además van aumentando con la concentración del inhibidor, reflejando que la enzima en presencia del mismo pierde afinidad por el sustrato.

- En contraste con el ácido ascórbico, su efecto es sobre la quinona formada por la reacción enzimática con el sustrato, transformándola al difenol original; asimismo en la figura 7, gráfico Lineweaver-Burk, las líneas rectas de los tratamientos evaluados en este estudio (0.5mM, 0.7mM y 0.9mM de ácido ascórbico) interceptaron en diferentes puntos negativos del eje Y cuando $X=0$ ($-1/V_{\max}$) y en diferentes puntos positivos del eje X cuando $Y=0$ ($1/K_m$). Por tanto, el ácido ascórbico no cumple con las características de un inhibidor competitivo para ser catalogado como tal, sino como antioxidante.

Porcentaje de acción antioxidante en diferentes concentraciones de Catecol

En cuanto a los porcentajes de acción antioxidante, los tratamientos de ácido ascórbico a concentraciones de 0.5, 0.7 y 0.9mM no presentaron diferencias entre sí ($F_{2,71}=3.05$; $P=0.0536$), pero hubo diferencias significativas en los porcentajes de acción antioxidante entre las concentraciones de catecol ($F_{7,71}=33.26$; $P<0.0001$). Por otra parte, no hubo interacción de los tratamientos de ácido ascórbico con catecol ($F_{14,71}=1.59$; $P=0.1023$).

La figura 8 muestra que los tratamientos de ácido ascórbico presentaron el porcentaje de acción antioxidante más alto en la concentración de 1 mM de Catecol, siendo de 51.45% (E.E=3.33) expresado como media ajustada de los tres tratamientos. Mientras que se muestra un declive del porcentaje de acción antioxidante a medida aumentó la concentración de Catecol hasta la concentración de 4 mM y una variación desde la concentración 5 mM a la de 8 mM.

El declive en las concentraciones de 1 a 4 mM de Catecol y la variación en las concentraciones de 5 a 8 mM en el porcentaje de acción antioxidante, puede deberse al K_m de la PPO de anona (3.64 mM/L), el cual indica la concentración de Catecol (sustrato) a la que la enzima alcanza la mitad de su velocidad máxima, como también la PPO obedece la cinética de Michaelis-Menten, aumentando su actividad de forma lineal a medida aumenta la concentración de sustrato hasta llegar al punto de su K_m , pero al sobrepasarlo, la actividad enzimática deja de ser lineal e independiente de la concentración de sustrato, en donde se nota una curva hasta que poco a poco se vuelve prácticamente una línea constante.

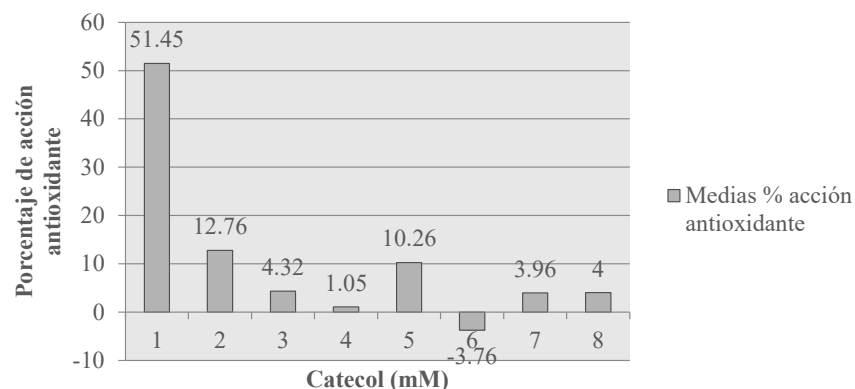


Figura 8. Porcentaje de acción antioxidante del ácido ascórbico sobre la polifenoloxidas de anona (*Annona diversifolia* Saff.) a 14 °C y pH=6.1

Conclusiones

Se puede obtener resultados igual de satisfactorios al aplicar ácido ascórbico en puré de anona a concentraciones de 0.50, 0.70 y 0.90% p/v, lo cual prolonga su vida estante a 11 días, extendiendo en un mínimo de tres días su vida estante a comparación del puré de anona sin ácido ascórbico.

Las cualidades organolépticas del puré de anona no fueron afectadas por las diferentes concentraciones de ácido ascórbico, ya que los tres tratamientos presentaron perfiles organolépticos similares al tratamiento testigo.

El comportamiento del pH y acidez titulable no se vieron afectados por las concentraciones de ácido ascórbico (0.50, 0.70 y 0.90% p/v), presentando una tendencia similar al tratamiento testigo (sin ácido ascórbico). Por tanto, el ácido ascórbico no actuó como acidulante a las concentraciones utilizadas.

La polifenoloxidasas de anona (*Annona diversifolia* Saff.) cumple la cinética de Michaelis-Menten, ya que presenta una relación hiperbólica a medida aumenta la concentración de Catecol (sustrato).

El ácido ascórbico no cumple con las características de un inhibidor competitivo, sino como la de un antioxidante; siendo su efecto el de reducir las quinonas formadas producto de la reacción de la polifenoloxidasas con los sustratos, devolviendo las quinonas a los difenoles originales (sustratos).

Los tres tratamientos de ácido ascórbico (0.5, 0.7 y 0.9mM) produjeron similares efectos en el porcentaje de acción antioxidante en el pardeamiento de anona, de modo que es posible obtener resultados satisfactorios en reducción del pardeamiento con estas tres concentraciones.

Recomendaciones

Realizar investigaciones relacionadas al control del pardeamiento enzimático utilizando otros agentes inhibidores para verificar su eficiencia sin que altere las propiedades organolépticas en el fruto de anona.

Evaluar la vida útil de anona empleando concentraciones más altas de ácido ascórbico, diferentes temperaturas de almacenamiento y en atmósferas controladas o modificadas.

Realizar estudios cinéticos para determinar pH y temperatura óptima para la actividad enzimática de la polifenoloxidasas (PPO) de anona.

Evaluar otros sustratos en el estudio cinético como por ejemplo L-Dopa o ácido clorogénico, para comparar sus constantes de Michaelis (K_m) y así, conocer con qué tipo de sustrato la polifenoloxidasas de anona presenta mayor afinidad.

Investigar por medio del estudio cinético el mecanismo de inhibición de otros agentes químicos que se comportan como inhibidores, por ejemplo cisteína, ácido cítrico y EDTA, con el fin de conocer cómo es afectada la actividad de la PPO de anona en presencia de éstos.

Realizar investigaciones relacionadas a la determinación de fenoles totales y capacidad antioxidante de estos compuestos presentes en la anona, para conocer qué tipo de difenoles (sustrato) se encuentran en mayor proporción en este fruto.

Bibliografía

- Ali, H. 2014. Browning inhibition mechanisms by cysteine, ascorbic acid and citric acid, and identifying PPO-catechol-cysteine reaction products. *Journal of Food Science and Technology* 52(6):3651–3659
- Amaya, E; Tarkus, R; Dominguez, M. 2008. Extracción y caracterización cinética de la enzima polifenoloxidasas del aguacate (*Pesea americana* MILLER) var. Hass. *Revista de la Facultad de Ingeniería Química* no. 47: 10-16.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists, US). 1980. *Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists*. Ed. W Horwitz. 13 ed. Washington, DC. 1018 p.
- Aydemir, T. 2004. Partial purification and characterization of polyphenoloxidase from artichoke (*Cynaria scolymus* L.) heads. *Food Chem* 87:59–67.
- Bello Gutiérrez, J. 2000. *Ciencia bromatológica: principios generales de los alimentos*. Madrid, ES. Ediciones Díaz de Santos. 596 p.
- Chong, C. 2009. Propiedades de polifenoloxidasas obtenidos de la pulpa y piel de *Musa acuminata* × *balbisiana* Colla cv. “Pisang Awak”. *CyTA - Journal of Food* 9:25-30.
- Christensen, R. 2015. Ordinal - Regression Models for Ordinal Data. R package version 2015.6-28 (en línea). Consultado el 17 ene. 2017. Disponible en <http://www.cran.r-project.org/package=ordinal/>.
- Cruz Pineda, E. 2003. Cultivo de la anona (en línea). La Libertad, SV. Consultado: 20 de Jul. 2016. Disponible: <http://www.centa.gob.sv/docs/guias/frutales/Guia%20anona%202003.pdf>
- Denoya, F. 2012. Efecto de la aplicación de tratamientos combinados de aditivos sobre la inhibición del pardeamiento enzimático en manzanas cv. Granny Smith mínimamente procesadas. *RIA* 38(3) p 263-267.
- Fox, J; Weisberg, S. 2011. *An {R} Companion to Applied Regression*, Second Edition. Thousand Oaks CA: Sage (en línea). Consultado el 17 ene. 2017. Disponible en: <http://socserv.socsci.mcmaster.ca/jfox/Books/Companion>
- Gago, J. 2008. Cinética Enzimática (en línea). Madrid, ES. Consultado el 8 ene. 2016. Disponible en: <http://pendientedemigracion.ucm.es/info/btg/personales/jvsgago/fundamentals%20de%20biocatalis3%20%5BModo%20de%20compatibilidad%5D.pdf>

- Gasull, E; Becerra, D. 2006. Caracterización de Polifenoloxidasas Extraídas de Pera (cv. Packam's Triumph) y Manzana (cv. Red Delicious). Información Tecnológica. 17(6):69-74.
- Guerrero, C. 2009. Inhibición de la actividad enzimática de la polifenoloxidasas extraída del banano (*Cavendish valery*) mediante sistemas bifásicos acuosos con isoespintanol y ácido ascórbico. Tesis MSc. Medellín, CO, Universidad Nacional de Colombia. 91 p.
- Herrera Ramírez. 2003. Química de alimentos: manual de laboratorio. San José, Universidad de Costa Rica. San José, CR, 2 ed. 142 p.
- Irigoyen, N. 2004. Guía Técnica del cultivo de la Anona. IICA- FRUTAL ESMAG, Santa Tecla, El Salvador. 36 p.
- Kavrayan D. 2001. Partial purification and characterization of polyphenoloxidase from peppermint (*Mentha piperita*). Food Chem 74:147-154.
- Landi, M. 2013. Role of ascorbic acid in the inhibition of polyphenol oxidase and the prevention of browning in different browning-sensitive *Lactuca sativa* var. *capitata* (L.) and *Eruca sativa* (Mill.) stored as fresh-cut produce. Journal of the Science of Food and Agriculture 93(8).
- Lenth, R. 2016. Least-Squares Means: The R Package lsmeans. Journal of Statistical Software, 69(1), 1-33.
- Materano, W; Cortez, C; Díaz, C. 2004. Influencia de recubrimientos de quitosano con aceites esenciales de cítricos sobre la vida útil de mango (*Mangifera indica* L.) mínimamente procesado (En línea). Medellín, COL. Consultado 2 de Nov. 2016. Disponible: <http://www.redalyc.org/pdf/1799/179939267008.pdf>
- Menjivar, J; Vanegas, A. 2014. Efecto del ácido etilendiaminatetraacético en la actividad de la polifenol oxidasa en puré de mango (*Mangifera indica* var. *Haden*). Tesis Ing. Agroin. Tegucigalpa, HN, Escuela Agrícola Panamericana Zamorano. 23p.
- Miller, D. 2003. Química de Alimentos: Manual de laboratorio. Trad. MC Sangines. México D.F., MX, Limusa. p. 58-68. (Serie Alimentos – Análisis – Manuales de laboratorio)
- Özoğlu, H. 2002. Inhibition of enzymic browning in cloudy apple juice with selected antibrowning agents. Food Control 4(13):213-221.
- Pizzocaro, F. 1993. Inhibition of apple polyphenoloxidase (PPO) by ascorbic acid, citric acid and sodium chloride. Journal of Food Processing and Preservation 17(1993):21-30.
- RCT (R Core Team). 2016. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, AU. Consultado el 17 ene. 2017. Disponible en <https://www.R-project.org/>.
- Sallés, S. 2007. Pardeamiento enzimático del fruto de níspero (*Eriobotrya japonica* cv. Algerie): enzimología y fisiología de las polifenoloxidasas. Tesis Dr. Alicante, ES, Universidad de Alicante. 196 p.





Simposio Investigación Científica
Facultad de Ciencias Agronómicas
Universidad de El Salvador
17-18-19 de octubre de 2017



Por una soberanía y seguridad alimentaria sostenible





Simposio Investigación Científica
Facultad de Ciencias Agronómicas
Universidad de El Salvador
17-18-19 de octubre de 2017



Por una soberanía y seguridad alimentaria sostenible



Determinación del análisis bromatológico proximal y calidad culinaria de *Phaseolus vulgaris* L. (frijol común) grano negro criollo cultivado en la zona occidental de El Salvador

Hernández-Melgar, MA
Facultad de Ciencias Agronómicas,
Universidad de El Salvador. El Salvador.
Correo electrónico: mario.hernandez@ues.edu.sv

Martínez-Hernández, EG
Facultad de Química y Farmacia,
Universidad de El Salvador. El Salvador.
Correo electrónico: emersonhdz_5@hotmail.com

Carranza-Estrada, FA
Facultad de Ciencias Agronómicas,
Universidad de El Salvador. El Salvador.
Correo electrónico: freddy.carranza@ues.edu.sv

Bonilla-deTorres, BL
Facultad de Ciencias Agronómicas,
Universidad de El Salvador. El Salvador.
Correo electrónico: blanca.bonilla@ues.edu.sv

Cuadra-Soto, JA
Facultad de Química y Farmacia,
Universidad de El Salvador. El Salvador.
Correo electrónico: Juan.cuadra@ues.edu.sv

Vivar-de Figueroa, ME
Facultad de Química y Farmacia,
Universidad de El Salvador. El Salvador.
Correo electrónico: maria.vivar2@ues.edu.sv



Resumen

Esta investigación plantea una alternativa para la producción de alimentos de buena calidad en cuanto a seguridad alimentaria y nutricional respecta. Apostando a la utilización del *Phaseolus vulgaris* L. (frijol común) grano negro criollo como un recurso que aumente la calidad y seguridad alimenticia de las familias salvadoreñas. Para poder tener información del *Phaseolus vulgaris* L. (frijol común) grano negro criollo, se decidió llevar a cabo en tres variedades de frijol común grano negro criollo (Cuarentín, Tamazulapa y El Porvenir) cultivadas en la zona occidental de El Salvador la determinación de la calidad culinaria y el análisis bromatológico proximal, además el análisis de micronutrientes importantes como calcio, magnesio, hierro y zinc con el objeto de poder comparar los resultados y concluir cuál de estas variedades es la que mejor calidad posee tomando como parámetro comparativo los valores de las tablas de composición de alimentos del Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá acerca del *Phaseolus vulgaris* L., con el desarrollo y finalización de las determinaciones analíticas realizadas y por medio del análisis de varianza de un factor y el análisis de diferencia significativa honesta de Tukey y demostrando a través de una representación de datos multivariantes con un gráfico Biplot, que dos de las tres variedades (Cuarentín y Tamazulapa) en estudio de *Phaseolus vulgaris* L. presentan parámetros mayores en cuanto a calidad en análisis bromatológico, análisis de micronutrientes y calidad culinaria con respecto a los valores que se tienen como referencia y que por ende pueden incluirse como alternativa dentro de planes de desarrollo en cuanto a seguridad alimentaria y nutricional del país se refiere, recomendando de esta manera a instituciones y comisiones competentes que incluyan en sus programas la producción y el fomento en el consumo de granos de variedades criollas de frijol común grano negro, y en especial, las variedades mencionadas en este estudio.

Palabras clave: alimentaria, nutricional, análisis, bromatológico, proximal, calidad, culinaria, frijol común grano negro criollo, micronutrientes.

Abstract

This research presents an alternative to shovel the problem of not having access to good quality food in terms of food and nutrition security is concerned, betting on the use of *Phaseolus vulgaris* L. (common bean) black beans creole as a resource to increase the quality and food safety of salvadorian families. In order to provide the *Phaseolus vulgaris* L. (common bean) black beans creole alternatively, it decided to take place at three varieties of bean common creole black beans (Cuarentín, Tamazulapa and El Porvenir) grown in western El Salvador determining cooking quality and proximal compositional analysis also analysis of important micronutrients such as calcium, magnesium, iron and zinc in order to be able to compare the results and conclude which of these varieties is the best quality has

taken as a comparative parameter values tables of food composition of the Institute of Nutrition of Central America and Panama for *Phaseolus vulgaris* L., to the development and completion of the analyzes carried out and by analysis of variance and factor analysis Tukey honestly significant difference and demonstrating through a representation of multivariate data with graphic Biplot that two of the three varieties (Cuarentín and Tamazulapa) in *Phaseolus vulgaris* L. study have higher parameters in terms of quality compositional analysis, analysis of micronutrients and culinary quality with respect to securities held by reference and thus can be included as an alternative in development plans in terms of food and nutritional security of the country is concerned, thus recommending institutions and relevant committees to include in their programs promoting production and consumption of grains of native varieties of common bean black beans, and especially the varieties mentioned in this study.

Key words: Food, nutrition, security, proximal, chemical, composition, analysis, cooking quality, common, creole, bean black grain, micronutrients.

Introducción

El frijol es una leguminosa muy consumida en América Latina, forma parte básica de la dieta salvadoreña, siendo la variedad de frijol grano rojo la más consumida; esta variedad por diversos factores, ha disminuido su disponibilidad, dificultando su acceso y su consumo a una buena parte de la población, sin embargo, ante esta situación, el frijol común grano negro es una alternativa para cubrir la demanda de esta leguminosa, siendo también una alternativa a los programas de Estado que se enfocan en la seguridad alimentaria, en este caso a consumo y utilización biológica. Por lo tanto, es importante, establecer las características de calidad culinaria y sus nutrientes, por ser esta una fuente importante de proteína, carbohidratos, fibra y minerales.

Actualmente se desconoce las cualidades culinarias y bromatológicas del frijol común grano negro criollo cultivado en nuestro país, se cuenta con investigaciones internacionales que señalan que las variedades de frijol común presentan calidad aceptable (Serrano 2004) (Ulloa 2011), pero hay muy poca información nacional acerca de las variedades que se cultivan en especial los granos negros. Ante esta problemática, este estudio pretende investigar tres variedades criollas de frijol común grano negro de los cuales no se cuenta con la información de calidad culinaria y bromatológica de manera que los resultados sustenten la iniciativa de impulsar el consumo de estas variedades de frijol criollo, por medio de la difusión de este estudio como un insumo para la Seguridad Alimentaria y Nutricional, a través de los resultados obtenidos que han sido comparados con los valores nutricionales dados en tablas del Instituto de Nutrición para Centroamérica y Panamá (INCAP), y evaluar las diferencias significativas entre las tres variedades criollas de frijol común grano negro proporcionadas por el Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal Enrique Álvarez Córdoba (CENTA) en cuanto a nutrición y alimentación se refiere y de esta forma impulsar la utilización efectiva de dichas variedades promoviendo su consumo; y asimismo ser un recurso en el cual se puede apoyar el cumplimiento de la seguridad alimentaria y nutricional en El Salvador.

La parte experimental de la presente investigación comprende la determinación de la calidad culinaria del grano negro que consiste en: coeficiente de hidratación, tiempo de cocción, densidad del caldo y dimensiones del grano; así como el análisis bromatológico proximal que comprende la determinación de humedad, proteína cruda, fibra cruda, grasas, y extracto libre de nitrógeno; al igual que minerales de importancia como hierro, calcio, magnesio y zinc, en tres variedades criollas de frijol común grano negro cultivados en la zona occidental del país cuyos nombres son: Cuarentín, Tamazulapa y El Porvenir (Fig. 1). La parte experimental fue llevada a cabo durante el mes de agosto y septiembre del año 2015 en el Laboratorio del Departamento de Química Agrícola de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador.

La extensión de toda la investigación ha sido desde el mes de enero del año 2015 hasta el mes de febrero del año 2016.

Los resultados que se han obtenido en la investigación de las tres variedades de frijol común grano negro criollos, se tabularon y compararon entre sí y con las tablas del Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá (INCAP), la comparación de los resultados ha sido a través del análisis de varianza de un factor (ANOVA) y el análisis de diferencia significativa honesta de Tukey empleando excel, de manera que esta investigación presenta conclusiones y recomendaciones que son un insumo en el marco de la temática de la Seguridad Alimentaria y Nutricional para la inclusión de estas variedades dentro de las instituciones competentes, para su producción y fomento de su consumo.



Figura 1. Granos de las variedades Tamazulapa, Cuarentín y El Porvenir respectivamente, antes de someterse al pretratamiento de la muestra.

Metodología

Se realizaron los análisis para cada variedad de *Phaseolus vulgaris* L. (Frijol común) grano negro criollo en el laboratorio del Departamento de Química Agrícola de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador. Primero se realizó la Determinación de la Calidad culinaria, que comprende:

Tiempo de cocción (Fig. 2),

Coefficiente de Hidratación (Fig. 3),

Densidad del caldo

Dimensiones del grano y posteriormente se realizó el Método de Wendee o Análisis Bromatológico Proximal que consiste en la determinación de humedad, proteína cruda, fibra cruda, grasa, cenizas y carbohidratos en base seca (Fig. 4). Asimismo se determinó la concentración de calcio, magnesio, hierro y zinc que son micronutrientes importantes dentro de la dieta humana, estos microelementos se determinaron a partir de las cenizas del análisis bromatológico proximal.

Las dos determinaciones citadas anteriormente se realizaron por duplicado para el caso de la Calidad Culinaria y quintuplicado para el análisis bromatológico proximal en cada variedad, para obtener una mayor precisión y exactitud en los datos y lograr con ello una mayor fiabilidad en los resultados.

Calidad culinaria.

Según Guardado en 2014, se conoce la importancia de los frijoles (*Phaseolus* spp.) en la nutrición de los diferentes grupos humanos, de la misma forma se conocen los factores que condicionan su consumo, aparte de la cantidad disponible y que son fundamentales para el mejor o peor aprovechamiento de este alimento, y son:

Forma de grano.

Coefficiente de Hidratación.

Tiempo de cocción.

Densidad del caldo.

Estos factores o la mayoría de ellos, de alguna manera están relacionados para la evaluación de la calidad del frijol cocido, de lo cual no se ha podido establecer una metodología universal, debido a que se utilizan pruebas sensoriales que son muy subjetivas; como, por ejemplo, para determinar la cocción utilizan el método de oprimir un grano entre los dedos (basándose en la textura del grano) o bien entre los dientes, aunque esto no presenta uniformidad. Sin embargo, un frijol se evalúa de acuerdo a su textura suave.



Figura 2. Prueba de chochura en la determinación del tiempo de cocción.



Figura 3. Preparación de granos para la determinación del porcentaje de hidratación.

Coeficiente de Hidratación

Fundamento

El porcentaje del coeficiente de hidratación se determinó mediante la diferencia de peso de la muestra al inicio y el peso de la muestra luego de haber permanecido los granos en remojo en agua potable por un período específico de tiempo; dividido entre el peso de muestra inicial y se multiplica por 100.

Ecuación para determinar el coeficiente de hidratación.

$$\% \text{ Coeficiente de H} = \frac{[\text{Peso de muestra hidratada (g)} - (\text{Peso muestra inicial (g)})]}{\text{Peso de muestra inicial (g)}} \times 100$$

Se basa en la clasificación del grano de frijol por el peso y por la forma del grano, y midiendo la relación entre la longitud y anchura de grano de frijol, para determinar el índice entre dichas mediciones (Índice longitud-anchura).

Ecuación para determinar peso promedio de granos.

$$\text{Peso promedio de grano} = \frac{\Sigma \text{pesos de granos (g)}}{\text{N}^\circ \text{ de granos pesados}}$$

Ecuación para determinar índice longitud-anchura.

$$\text{Índice longitud-anchura de granos} = \frac{\text{Longitud de grano (mm)}}{\text{Anchura de grano (mm)}}$$

Tiempo de cocción

Fundamento

El tiempo de cocción se determina a través de la evaluación sensorial del grano conforme avanza la cocción, en donde el sentido del gusto nos permite establecer el tiempo que el grano de frijol requiere para alcanzar la condición de textura que se considera adecuada para poder ser incluido en la dieta como alimento. De acuerdo al parámetro de tiempo de cocción puede clasificar el grano de frijol como “duro” o “blando”.

Densidad del caldo

Fundamento

Se determina mediante la relación del peso y el volumen del caldo obtenido en la cocción de cada variedad. Se mide 10.0 mL de caldo en un balón volumétrico previamente tarado. La diferencia de peso del balón volumétrico de 10.0 mL aforado con caldo y el peso del balón volumétrico de 10.0 mL vacío permite conocer la

densidad del caldo por variedad.

Ecuación para determinar la densidad del caldo.

$$\text{Densidad de caldo} = \frac{(\text{Peso final (g)} - \text{Peso inicial (g)})}{10.0 \text{ mL}}$$

Análisis Bromatológico Proximal.

Según la AOAC en 1980, el análisis se aplica en primer lugar a los materiales que se usarán para formular una dieta como fuente de proteína o de energía y a los alimentos terminados, como un control para verificar que cumplan con las especificaciones o requerimientos establecidos durante la formulación. Estos análisis nos indicarán el contenido de humedad, proteína cruda, fibra cruda, grasas, ceniza y extracto libre de nitrógeno (Carbohidratos) en la muestra.

Preparación de la muestra

Las tres variedades de frijol común grano negro se limpiaron quitando basura o cualquier otra impureza que contenían, posteriormente se cuartearon individualmente a manera de tomar una cantidad de muestra representativa para el análisis, la cual se hizo pasar por un molino de cuchillas marca Wiley Mill modelo estándar número 3, usando un tamiz de 0.20 – 0.25 mm. Posteriormente se realizó el análisis bromatológico proximal.

Determinación de Humedad

Fundamento

La cantidad de agua se elimina por calentamiento de la muestra en una estufa de vacío a temperatura de 105 °C durante cinco horas y presión de 100 mm de Hg.

Ecuación para determinar la humedad.

$$\% \text{ de Humedad} = \frac{\text{Perdida de peso (g)}}{\text{Peso de muestra (g)}} \times 100$$

Determinación de cenizas

Fundamento

La destrucción de la materia orgánica por incineración de cada muestra se lleva a cabo en un horno de mufla a temperatura de 550°C por un período de 2 horas, quedando sólo el material inorgánico llamado ceniza que no se destruye a esta temperatura. (Fig. 5).

Ecuación para determinar cenizas.

$$\% \text{ de ceniza} = \frac{\text{Peso de ceniza (g)}}{\text{Peso de muestra (g)}} \times 100$$

Determinación de nitrógeno proteico

Método micro kjeldahl

Fundamento

Este método se divide en tres etapas:

a) Digestión: destrucción de la materia orgánica por acción del ácido sulfúrico concentrado y caliente. Este actúa sobre la materia orgánica deshidratándola y carbonizándola. El carbón es oxidado y el nitrógeno reducido a amoníaco en presencia de reactivos específicos que actúan como catalizadores. El amoníaco desprendido queda fijado en el ácido sulfúrico como sulfato de amonio, que es estable en las condiciones de trabajo.

b) Destilación: liberación del amoníaco formado, recogiendo en un volumen conocido de ácido bórico formándose borato de amonio.

c) El borato de amonio se titula con ácido clorhídrico empleando como indicador una mezcla de verde de bromocresol y rojo de metilo.

Ecuación para determinar proteína.

$$\% \text{ Nitrógeno} = \frac{(\text{mL HCl muestra}) \times N \text{ de HCl} \times 0.014 \times 100}{\text{Peso de muestra (g)}}$$

0.014"=" Miliequivalente del nitrógeno.

% de proteína cruda = % Nitrógeno x 6.25.

Determinación de extracto etéreo

Fundamento

El éter se evapora y se condensa continuamente, al pasar a la muestra extrae materiales solubles. El extracto se recoge en un balón de fondo plano y cuando el proceso se completa, el éter se destila y se recolecta en otro recipiente y la grasa cruda que queda en el balón se seca y se pesa. (Fig. 4).

Ecuación para determinar extracto etéreo.

$$\% \text{ Extracto Etéreo} = \frac{\text{Peso de E.E}}{\text{Peso de muestra}} \times 100$$



Figura 4. Imágenes de la terminación del extracto etéreo, determinación de humedad y determinación de proteína cruda respectivamente, realizadas dentro del análisis bromatológico y proximal.

Determinación de fibra cruda

Fundamento

Consiste en digerir la muestra desengrasada primero con ácido sulfúrico 1.25% y luego con hidróxido de sodio 1.25%, lavando el material después de cada digestión con suficiente agua destilada caliente hasta eliminación de ácido o álcali del material.

La muestra se lava después con etanol, se seca y calcina, calculándose el porcentaje de fibra obtenido después de la calcinación.

Ecuación para determinar fibra cruda.

$$\% \text{ Fibra cruda} = \frac{\text{Pérdida de peso después de calcinada a } 600 \text{ } ^\circ\text{C}}{\text{Peso de muestra (g)}} \times 100$$

Determinación de carbohidratos solubles o extracto libre de nitrógeno (E.L.N.)

Esta fracción es calculada con base en las otras determinaciones:

Ecuación para determinar carbohidratos.

$$\% \text{ Extracto libre de nitrógeno o carbohidratos} = 100 - (\% \text{ Cenizas} + \% \text{ Nitrógeno} + \% \text{ Extracto etéreo} + \% \text{ Fibra cruda}).$$

Análisis del contenido de micronutrientes por el Método Espectrofotometría de Absorción Atómica de llama, (Método AOAC 985.35)

Fundamento

Al suministrar una determinada cantidad de energía a un átomo cualquiera en estado fundamental (E0). Esta es absorbida por el átomo de tal forma que se incrementara el radio de giro de sus electrones de la capa externa llevando al átomo a un nuevo estado energético (E1) que llamamos excitado.

Cuando este vuelve a su estado fundamental cede una cantidad de energía cuantitativamente idéntica a su energía de excitación, emitiendo radiaciones a longitudes de onda determinada.

Cuando los átomos en estado fundamental se encuentran con las radiaciones que ellos mismos son capaces de emitir, se produce una absorción de las mismas, pasando los átomos del estado fundamental al excitado.

El fenómeno de absorción de radiaciones a determinadas longitudes de onda en el caso particular en que el medio absorbente sean los átomos en estado fundamental, se conoce como espectroscopia de absorción atómica.

Diseño estadístico

A cada uno de los resultados obtenidos para cada determinación del análisis de calidad culinaria y el análisis bromatológico proximal de las tres variedades de *Phaseolus vulgaris* L. (Frijol común) grano negro criollo, se les realizó el análisis de varianza de un factor (ANOVA), basándose en la comparación de tres estimados de varianza común en las muestras de las tres variedades en estudio. Se estableció como hipótesis nula la igualdad de las medias en los resultados obtenidos en las tres variedades en estudio, el criterio de rechazo es tener un valor de P pequeño (0.05 o menos), con un valor P grande (mayor a 0.05) no se rechazaría, donde los términos vagos “pequeño” y “grande” se vuelven objetivos por medio del valor de P correspondiente con un límite de confianza del 95%. (Triola 2004).

En el caso de rechazo de la hipótesis que indica la igualdad de las medias en los resultados obtenidos, se evaluó por medio de la prueba de Diferencia Significativa Honesta (DSH) de Tukey. El criterio para establecer diferencia significativa entre dos pares de medias en la prueba de diferencia significativa honesta de Tukey (DSH) se basa en el hecho que el resultado como valor absoluto de la diferencia de las medias comparadas sea mayor al valor de DSH, si la diferencia de las medias comparadas es inferior al valor de DSH se establece que no hay diferencia significativa en las medias comparadas. Para la prueba del análisis de varianza de un factor (ANOVA) como para la diferencia significativa honesta de Tukey se utilizó una plantilla de Excel. Al final se hizo una representación de datos multivariantes con un gráfico Biplot, que demostro la dispersión de la distribución de las tres variables en estudio, contra los valores de referencia para el análisis bromatológico proximal.

Análisis de resultados

Los resultados del cuadro 1 demuestran que para el análisis de la calidad culinaria, en la determinación del coeficiente de hidratación la variedad que más tiempo necesita para estar hidratada es la variedad El Porvenir (20 h), y aun así no está fuera de lo que dice la tabla de valores de referencia del INCAP (16-22 h), no así en el tiempo de cocción dado a que la variedad Tamazulapa, es la variedad que necesita mayor consumo de energía para poder tener una cochura adecuada, presentando un valor de 70 minutos que lo hace estar fuera de lo que las tablas del INCAP muestran (40min). Por otra parte las tres variedades (Cuarentin, Tamazulapa y El Porvenir) presentan un tipo de caldo medio, de acuerdo a la densidad las tres variedades que oscila entre 0.9 y 1.2 g/mL. Al final los tres tipos de grano pueden clasificarse como grano grande para las variedades Cuarentin y El Porvenir de acuerdo al peso de grano de estas variedades que es mayor a 0.217 g, en tanto la variedad tamazulapa posee un grano pequeño de acuerdo al peso del mismo que es menor a 0.193 g. De acuerdo al índice longitud anchura la variedad Cuarentin y Tamazulapa poseen un grano del tipo elíptico, ya que el valor del índice longitud-anchura de ambas está entre 1.43-1.65 según las tablas de referencia del INCAP, al final se puede caracterizar al grano de la variedad El Porvenir como grano Oblongo o arriñonado

corto ya que el valor de su índice longitud-anchura está entre 1.66-1.85.

Por otra parte el cuadro 2 muestra que de las tres variedades de frijol común grano negro criollo, la variedad El Porvenir es la que presenta la mayor cantidad de determinaciones con resultados menores a los valores de referencia del INCAP entre ellos están el porcentaje de humedad, fibra cruda, carbohidratos y los valores de referencia del INCAP entre ellos están el porcentaje de humedad, fibra cruda, extracto libre de nitrógeno y los minerales.

Para interpretar los resultados de una mejor forma se elaboró una gráfica biplot (Fig. 6).

Con esta representación gráfica podemos ver la distribución de las medias de los valores del análisis bromatológico proximal y determinación de minerales de las variedades estudio, donde se observa que la variedad El Porvenir es la que más dispersa esta con respecto a los valores que presenta el INCAP y asimismo con respecto a las otras variedades, rescatándose además de lo anterior, que las variedades Cuarentín y Tamazulapa son las que presentan una mayor similitud entre ellas y no solo ello sino que también obtuvieron valores promedio mayores a los proporcionados por el INCAP, indicando que las tres variedades el Porvenir es la que posee menor calidad ya que está bajo los parámetros de análisis bromatológico proximal y determinación de minerales que presenta el INCAP y por ende es la variedad que presenta mayor diferencia de las tres variedades estudiadas. (Cuarentin, Tamazulapa y El Porvenir).

Conclusiones

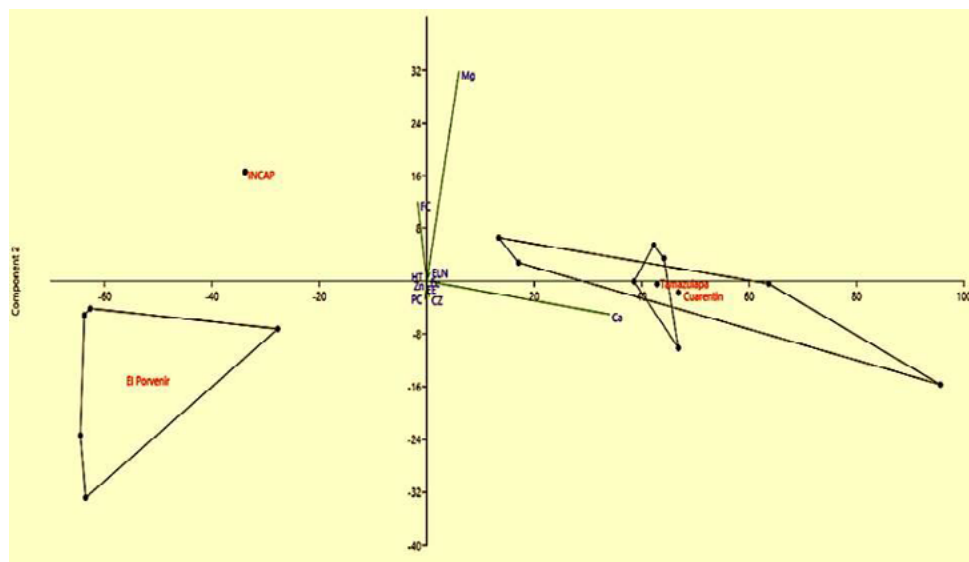


Figura 6. Representación gráfica (Biplot) de los datos del análisis bromatológico proximal y determinación de minerales.

Cuadro 1. Resumen de los resultados del análisis de Calidad Culinaria de las tres variedades en estudio frijol común grano negro criollo: Cuarentín, Tamazulapa y El Porvenir.

Determinación	Variedad Cuarentín	Variedad Tamazulapa	Variedad El Porvenir	INCAP
Coefficiente de Hidratación	18 h	18 h	20 h	16 – 22 h
Tiempo de cocción	40 min	70 min	50 min	40 min
Densidad del caldo (g/mL)	0.9997 Medio	1.0008 medio	1.0016 Medio	<0.9 g/mL claro 0.9 – 1.2 g/mL medio >1.2 g/mL espeso
Dimensiones del grano	0.236 g Grande	0.184 g pequeño	0.283 g Grande	Peso del grano < 0.193 pequeño 0.193 g – 0.217 mediano >0.217 g grande
	1.5238 mm Elíptico	1.6235 mm elíptico	1.6624 mm Oblongo o Arriñonado corto	Índice longitud-anchura 1.16 – 1.42 mm esférico 1.43 – 1.65 mm elíptico 1.66 – 1.85 mm oblongo o arriñonado corto 1.86 – 2.00 mm oblongo o arriñonado medio >2.00 mm oblongo o arriñonado largo

Cuadro 2. Resumen de los resultados del análisis bromatológico proximal y análisis de micronutrientes de las tres variedades en estudio: Cuarentín, Tamazulapa y El Porvenir

Variedad	Humedad (%)	Proteína Cruda (%)	Extracto Etéreo (%)	Fibra Cruda (%)	Ceniza (%)	Extracto Libre de Nitrógeno (%)	Fe (mg/100g)	Ca (mg/100g)	Mg (mg/100g)	Zn (mg/100g)
INCAP	10.40	22.70	1.60	18.37	3.70	61.60	7.10	134.00	182.00	2.55
Cuarentín	8.24	25.51	2.22	3.92	6.74	60.36	8.09	215.95	181.10	3.21
El Porvenir	9.75	26.08	1.86	3.60	6.94	60.01	7.56	115.68	151.55	3.77
Tamazulapa	11.19	21.70	1.20	3.99	7.49	64.65	7.90	211.37	181.32	3.38

Los resultados obtenidos del análisis de calidad culinaria (determinación de coeficiente de hidratación, dimensiones de grano, tiempo de cocción y densidad del caldo) de las variedades de *Phaseolus vulgaris* L. (frijol común) criollo grano negro, indica que hay diferencia significativas entre las tres variedades analizadas (Cuarentín, Tamazulapa y El Porvenir).

En cuanto a la determinación y evaluación de la calidad culinaria, la variedad Cuarentín presentó mejores resultados en la determinación de coeficiente de hidratación y tiempo de cocción con respecto a las variedades Tamazulapa y El Porvenir, mostrando valores similares a los dados por el Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá (INCAP), siendo la variedad Cuarentín la que presenta mejor calidad culinaria.

Los resultados obtenidos del análisis bromatológico proximal (Determinación de humedad, cenizas, proteína cruda, extracto étereo, fibra cruda y extracto libre de nitrógeno) y de minerales (determinación de calcio, magnesio, hierro y zinc) de las tres variedades de *Phaseolus vulgaris* L. (frijol común) criollo grano negro, indican que si hay diferencia significativas entre las tres variedades, por lo que las tres variedades poseen distinta calidad bromatológica.

De las variedades Cuarentín, Tamazulapa y El Porvenir de frijol común criollo grano negro, la variedad El Porvenir fue la que presentó mayor diferencia significativa con valores inferiores a los de referencia del INCAP, y también con respecto a las otras dos variedades en estudio, resultando que es la variedad que posee menor calidad desde el punto de vista del análisis bromatológico proximal.

Las variedades Cuarentín y Tamazulapa presentaron resultados (en su mayoría) dentro de los valores de referencia del INCAP para el análisis bromatológico proximal y micronutrientes, por lo tanto, ambas variedades antes mencionadas poseen buena calidad, en especial la variedad Cuarentín que posee un 25.51 % de proteína, y en cuanto a micronutrientes los valores obtenidos de hierro (8.09 mg / cada 100 g), calcio (215.95 mg / cada 100 g) y zinc (3.21 mg / cada 100 g), son superiores a los valores de referencia del INCAP.

Las variedades criollas de frijol común grano negro criollo evaluadas en esta investigación tienen resultados cercanos a los valores de referencia del INCAP, demostrando así que pueden ser consumidas indistintamente, asimismo pueden ser consideradas dentro de la seguridad alimenticia y nutricional como un recurso importante dentro de la dieta de las familias salvadoreñas.

Recomendaciones

A futuros investigadores, realizar este tipo de trabajo a nivel nacional y no solamente por zonas para evaluar la calidad de las distintas variedades de frijol común criollo grano negro existente en nuestro país.

Proponer a la Comisión Nacional de Seguridad Alimentaria y Nutricional

(CONASAN) la difusión de información del aporte nutricional de las variedades criollas de frijol común grano negro como un aliciente para solventar las necesidades de acceso a alimentos de buena calidad para la población salvadoreña, dando a conocer que no existe diferencia en la utilización de variedades criollas de frijol común grano negro, con respecto a otro tipo de variedades frijol común.

Proponer a los estudiantes de la Universidad de El Salvador realizar investigaciones dentro del ámbito alimenticio y nutricional, en especial las que involucren las variedades criollas de frijol común grano negro para poder obtener mayor información de este tipo de granos.

A futuros investigadores, ampliar el enfoque de análisis de la variedad criolla de frijol común grano negro para no limitarse a tener información solo del aporte nutricional o alimenticio; sino también tener acceso a resultados de análisis microbiológicos, agronómicos y técnicos que ayuden a poder tomar una mejor decisión en la utilización de este tipo de variedades criollas.

Agradecimientos

Expresamos nuestros más sinceros agradecimientos a los docentes: MAE. María Elisa Vivar de Figueroa, MSc. Blanca Lorena Bonilla de Torres, Lic. Juan Agustín Cuadra Soto, MSc. Freddy Alexander Carranza Estrada; quienes han aportado tanto en investigación, por sus consejos, sugerencias, apoyo y enseñanzas determinantes para alcanzar los objetivos propuestos, Dios les bendiga.

Expresamos nuestra gratitud al M. Sc. Miguel Rafael Paniagua Cienfuegos por el apoyo y asesoría en el diseño estadístico del trabajo de investigación, asimismo al Ing. Carlos Reyes del Programa de Granos Básicos y al Ing. José Antonio López del Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal Enrique Álvarez Córdova (CENTA) por facilitarnos los contactos para la obtención de las muestras de granos de frijol común grano negro criollo cultivados en el occidente del país y su guía para la obtención de información valiosa en la investigación.

Agradecemos a los docentes y personal del Departamento de Química Agrícola de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador por su profesionalismo y su disponibilidad en el momento de consultar al ejecutar la parte experimental en el laboratorio del Departamento, Dios les bendiga.

Agradecemos a los agricultores del caserío Cuenca Abajo del municipio de Chalchuapa y del municipio de El Porvenir por su amable atención y facilitación de las muestras de las variedades de frijol común grano negro criollo, deseando Dios les bendiga.

Bibliografía

- AOAC (Asociación Oficial de Químicos y Analistas, US). 1980. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemist. Sampling of Dairy Products. 30ª edición. BOX 540, Benjamin Franklin Station. Washinton DC. p. 238.
- Guardado, FA. 2014. Comparación de la Calidad culinaria y del análisis bromatológico proximal de la especie *Phaseolus vulgaris* L. (frijol común) variedad Chaparrastique y la importada de China (Tesis). San Salvador: Universidad de El Salvador, Facultad de Química y Farmacia. P. 148.
- INCAP (Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá, GT). 2012. Tabla de Composición de Alimentos de Centroamérica. Guatemala. Pp. 30, 35. P. 137.
- Serrano, J. GT2004. Papel del frijol negro *Phaseolus vulgaris* en el estado nutricional de la población guatemalteca. Archivos Latinoamericanos de Nutrición. (en línea), consultado el 23 de abril de 2015. Disponible en: http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222004000100006
- Triolla, M. 2004. Estadística (9 ed). México: Pearson Educación. p. 874.
- Ulloa, JA. 2011. El frijol (*Phaseolus vulgaris*): su importancia nutricional y como fuente de fitoquímicos. Centro de Tecnología de alimentos, Universidad Autónoma de Nayarit, México. p. 5.



Simposio Investigación Científica
Facultad de Ciencias Agronómicas
Universidad de El Salvador
17-18-19 de octubre de 2017



Por una soberanía y seguridad alimentaria sostenible



Proyecto de USAID de Educación Superior para el Crecimiento Económico

MODELO DE CLÚSTERES

4 sectores priorizados y 12 IES beneficiadas

- 01 Tecnologías de la Información y la Comunicación.
- 02 Energía y Eficiencia Energética.
- 03 Manufactura Liviana.
- 04 Agroindustria y Procesamiento de Alimentos.

ACADEMIA





Simposio Investigación Científica
Facultad de Ciencias Agronómicas
Universidad de El Salvador
17-18-19 de octubre de 2017



Por una soberanía y seguridad alimentaria sostenible



Manejo Pesquero Sostenible de *Ucides occidentalis* (“punche”), recurso hidrobiológico de la Cuenca Baja del Río Lempa, Bahía de Jiquilisco, departamento de Usulután

Rivera, CG
Facultad de Ciencias Agronómicas,
Universidad de El Salvador, El Salvador.
Correo electrónico: riveracg@yahoo.com

Castaneda-Romero, LF
Secretario de la Facultad de Ciencias Agronómicas,
Universidad de El Salvador, El Salvador.
Correo electrónico: fcastanedar@yahoo.com

Barraza-Sandoval, JE
Coordinador Humedales. Dirección General de Observatorio Ambiental,
Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, El Salvador.
Correo electrónico: eulaliabarr@yahoo.com

Rodríguez-Urrutia, EA
Coordinador de la Escuela de Posgrado,
Facultad de Ciencias Agronómicas,
Universidad de El Salvador, El Salvador.
Correo electrónico: earu_1663@yahoo.com.mx

Resumen

Se presenta el estudio Manejo Sostenible de la Pesca Artesanal de *Ucides occidentalis*, recurso hidrobiológico de la cuenca baja del río Lempa, Bahía de Jiquilisco, departamento de Usulután, desarrollado con los objetivos de determinar los parámetros de crecimiento y la relación entre las medidas biométricas, estimar la probabilidad de captura y las tasas de mortalidad y reclutamiento en la población, evaluar la tasa actual de explotación del recurso y diseñar una propuesta de Manejo Pesquero Sostenible. Se analizaron 1,460 individuos, 682 hembras y 778 machos, que fueron recolectados entre julio-agosto de 2007, febrero-marzo de 2008, febrero de 2009 a agosto de 2010 y febrero-abril de 2012. Los organismos presentaron en promedio, 62.15 mm de ancho de caparazón y 106.88 g de peso. El ecosistema contiene cuatro sectores diferenciados por los organismos que contienen, dos al Norte y dos al Sur del Canal El Izcanal. La especie exhibe un crecimiento alométrico negativo. El patrón de reclutamiento, ocurre de enero a noviembre cada año, principalmente entre marzo y junio. La tasa de explotación actual se sitúa cerca del límite de la sobre explotación. Se presenta una propuesta de manejo pesquero sostenible basada en los niveles biológicos, ecológicos y socioeconómicos, además de una propuesta de monitoreo local de la especie.

Palabras clave: El Salvador, Usulután, bahía, Jiquilisco, recursos, naturales, ecosistema, manglar, Lempa, pesca, artesanal, *Ucides occidentalis*, extracción, sostenible, manejo, pesquero.

Abstract

A research report of Sustainable Fisheries Management of *Ucides occidentalis* (“punche”), hydro-biological resources of Rio Lempa downstream, Jiquilisco Bay, Usulután is presented. This study encompasses the following objectives: to determine the parameters growth and the relationship between the biometric measurements, estimate the probability of capture and mortality rates and recruitment, assess the current rate of resource exploitation and, design a proposal for Sustainable Fisheries Management. The study included analysis of 1,460 individuals, 682 females and 778 males, collected in July-August 2007, February-March 2008, February 2009 - August 2010 and February - April 2012. The average width was 62.15 mm and weight 106.88 g. The ecosystem comprises four sectors: two in the north and two in the south of Izcanal estuary. This species exhibits a negative allometric growth. The recruitment occurs from January to November, but mostly between March and June. The exploitation rate calculated in this study is very close to over-exploitation threshold. An approach of sustainable fisheries management is presented based on biological, ecological and socio-economic levels. Additionally, we propose a local monitoring plan for this specie.

Key words: El Salvador, Usulután, Jiquilisco, Bay, natural, mangrove, ecosystem, Lempa river, artisanal, fisheries, *Ucides occidentalis*, sustainable, extraction Local Plan, Sustainable Management fisheries, fishery, models.

Introducción

Los ecosistemas de manglar cubren entre el 60-75% de las costas tropicales y subtropicales de todos los océanos con un aproximado de 17,1 millones de hectáreas (Spalding *et al.* 1997, Lacerda, 2001). Estos ambientes son considerados entre los más productivos y prominentes de las costas tropicales alrededor del mundo (Lugo and Snedaker 1974, Twilley *et al.* 1999, Alongi, 2009). Los manglares ostentan un considerable valor ambiental y económico, al prevenir la erosión costera, funcionar como barrera contra fenómenos oceánicos y climáticos, proporcionar zonas de alimentación, refugio y protección de peces, invertebrados, mamíferos y aves (Odum y Heald, 1972; Lugo y Snedaker, 1974, Jones, 1984; Robertson y Duke, 1987; Little *et al.*, 1988, Robertson y Duke, 1990, Robertson y Alongi 1992, Sasekumar *et al.*, 1992).

En El Salvador, las condiciones latitudinales y las características ambientales de su zona litoral son propicias para el establecimiento de manglares, disponiendo actualmente de una cobertura aproximada de 40,000 ha (PNUMA-MARN, 2007, Rivera y Cuéllar, 2010), distribuidas principalmente en las Bahías de Jiquilisco y La Unión y en el Estero de Jaltepeque. En este ecosistema se desarrollan intensas actividades pesqueras artesanales sobre especies de gran interés comercial, como camarones marinos, cangrejos y moluscos.

En los manglares del país, como típicamente ocurre con los ecosistemas tropicales litorales, la diversidad de cangrejos o braquiuros (Decapoda: Brachyura) y su biomasa son particularmente altos (hasta el 80% de la biomasa faunística), donde juegan un papel trascendental en el flujo de nutrientes y energía (Camilleri, 1989, 1992; Jones, 1984; Robertson, 1986; Lee, 1997, 1998; Robertson y Daniel, 1989; Emmerson y Mc Gwynne, 1992; Hogarth, 1999; Wolff *et al.* 2000; Schories *et al.* 2003; Koch y Wolff, 2002; Nordhaus, 2003; Nordhaus *et al.*, 2005; Rivera, 2010 a,b, Rivera y Córdova, 2010).

El cangrejo *Ucides occidentalis*, conocido en El Salvador, como “punche”, es uno de los recursos hidrobiológicos más representativo de los manglares y su pesca artesanal garantiza ingresos económicos y medios de vida para muchas familias costeras a nivel nacional. Esta realidad se manifiesta para más de 100 familias de pescadores artesanales de la cuenca baja del río Lempa en la Bahía de Jiquilisco, departamento de Usulután, donde, actualmente, se ejecutan medidas básicas de ordenación pesquera, establecidas en el Plan Local de Extracción Sostenible (PLES), que fue diseñado en 2009 y entró en vigencia a principios de 2011.

La especie ha experimentado declive en los últimos años, producto de sobrepesca y degradación del medio natural, situación que ha sido abordada mediante algunas medidas básicas (Rivera y Cuéllar, 2010), contempladas en el PLES.

Actualmente, una de las actividades impostergables, es desarrollar una evaluación profunda del estado de la pesca artesanal, a efecto de mejorar aquellas iniciativas en marcha o diseñar nuevas estrategias que garanticen la sostenibilidad del recurso.

Considerando la impostergable necesidad de evaluar las medidas contenidas en el PLES y garantizar la sostenibilidad de la pesca artesanal del *Ucides occidentalis*, se presenta esta contribución, desarrollada con el objetivo fundamental de determinar los parámetros de crecimiento y la relación entre las medidas biométricas, estimar la probabilidad de captura y las tasas de mortalidad y reclutamiento en la población, evaluar la tasa actual de explotación del recurso y diseñar una propuesta de Manejo Pesquero Sostenible de *Ucides occidentalis*.

Metodología

Descripción del Área de Estudio

La desembocadura del río Lempa en el Océano Pacífico Oriental Tropical (OPOT) se localiza en la franja costera del Sur de El Salvador y divide los departamentos de San Vicente y Usulután. La Bahía de Jiquilisco se ubica en la planicie costera de la región sur oriental de El Salvador, en los municipios de Jiquilisco, Puerto El Triunfo, Usulután, San Dionisio, Concepción Batres y Jucuarán (MARN y VMVDU, 2003; Díaz *et al.*, 2004). El Área de Conservación Bahía de Jiquilisco, cuenta con declaratorias de Sitio Ramsar y Reserva de la Biósfera.

El Ecosistema de manglar de la Cuenca Baja del Río Lempa en la Bahía de Jiquilisco (Fig. 1) comprende la franja costera situada entre la margen izquierda de la Bocana del Río Lempa hasta los límites de la laguna de San Juan del Gozo. La superficie total es de 1,916 ha y 52 m. La zona es habitada por 986 habitantes de 238 familias, distribuidas en las comunidades: La Tirana, Las Mesitas, La Canoíta, La Chacastera, Los Cáliz, Los Lotes, La Babilonia e Isla de Montecristo (Rivera, 2009). Las principales actividades son la agricultura, ganadería, acuicultura y la pesca artesanal, principalmente de *Ucides occidentalis*.

Trabajo de campo y procesamiento de especímenes

Los organismos analizados en este estudio fueron recolectados de nueve estaciones de muestreo (cuadro 1), localizadas en el ecosistema de manglar de la cuenca baja del río Lempa, Bahía de Jiquilisco. La selección de los sitios se realizó con base en su importancia para la pesca artesanal durante todo el año. La recolecta se realizó en 24 meses de muestreo desde 2007 a 2012, considerando julio-agosto de 2007, febrero-marzo de 2008, febrero de 2009-agosto de 2010 y febrero-abril de 2012.

En cada estación de muestreo se ubicó una parcela o cuadrante de 400 m² de área (20 m de largo x 20 m de ancho), donde se realizó la captura por pescadores artesanales locales y miembros del equipo de guarda recursos del área, a través de “trampas puncheras”, dispositivo artesanal de madera que es ubicado al azar en las madrigueras y que consta en su interior de hojas de mangle rojo espigado

(*Rhizophora racemosa*) como atrayente. A los organismos recolectados se les realizó mediciones de sus medidas biométricas de longitud (LC), ancho (AC) y grosor (GC) del caparazón o cefalotórax y peso. Se procedió a registrar los datos según el sexo correspondiente.

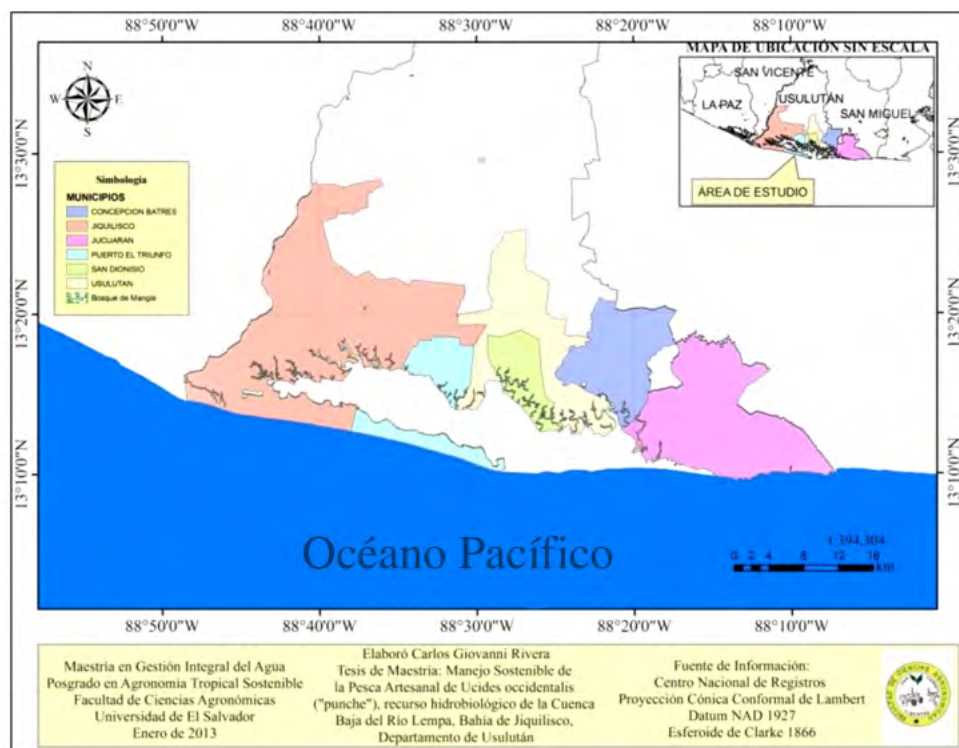


Figura 1. Ubicación geográfica de la Bahía de Jiquilisco, El Salvador.

Cuadro 1. Coordenadas geográficas de estaciones de colecta de *Ucides occidentalis*.

Nº	Estación de colecta	Ubicación geográfica	
		Latitud (N)	Longitud (W)
1	El Ajalín	13°14'47.61"	88°46'24.03"
2	El Brujo	13°14'59.94"	88°46'49.61"
3	La Conquista	13°15'13.88"	88°47'14.31"
4	El Varal	13°15'28.43"	88°48'15.86"
5	El Lodo	13° 15'36.52"	88°46'56.87"
6	El Cebollal	13°15'53.07"	88°46'49.70"
7	El Dorado	13°16'0.13"	88°46'4.50"
8	El Horno	13°15'26.16"	88°46'39.64"
9	Las Trompetas	13°15'7.38"	88°46'20.17"

Análisis de datos

Estimación de parámetros de crecimiento

La información biométrica se utilizó para establecer las relaciones entre el ancho del caparazón y el peso total para sexos independientes y combinados, por medio de la ecuación potencial:

$$pt = \alpha Ac \beta.$$

Donde:

pt = peso total en g, Ac = ancho del caparazón en mm, α = constante de regresión y β = coeficiente de regresión.

El valor del coeficiente de regresión (β) se evaluó con una prueba "t" de Student (Zar 1999), para determinar el tipo de crecimiento que exhibe la especie; si $\beta = 3$ el crecimiento es isométrico y si $\beta \neq 3$ el crecimiento es alométrico (Ricker, 1975; Ramos-Cruz, 2008). Para evaluar el efecto del sexo en la longitud de los organismos se realizó un análisis de covarianza (ANCOVA), utilizando al peso como la variable covariante (Montgomery, 2002).

Con las series de datos de ancho del caparazón se determinó los parámetros de crecimiento de la curva de von Bertalanffy (1938), correspondientes a L_{∞} (talla máxima) y k (coeficiente de crecimiento) a través de los métodos indirectos (Gayanilo y Pauly, 1997; Gayanilo *et al.*, 2002) correspondientes a ELEFAN I (Pauly, 1983), Sheferd (Sheferd, 1987) y Powell-Wetherall (Sparre y Venema, 1997). Adicionalmente se calculó W_{∞} (peso máximo de los organismos) y la Fi prima de Munro \emptyset' (Munro y Pauly, 1983), dada por la expresión:

$$\emptyset' = \log_{10}(K) + 2\log_{10}(L_{\infty})$$

Donde:

L_{∞} = longitud máxima de la especie y K = coeficiente de crecimiento.

Se utilizó el modelo matemático de Von Bertalanffy (1934), que expresa la relación entre el crecimiento de longitud y peso de *U. occidentalis*, expresada de la siguiente manera:

$$L(t) = L_{\infty} * [1 - \exp(-K * (t - t_0))]$$

Donde:

L(t) = edad a una longitud determinada, L_{∞} = longitud máxima de la especie, K = coeficiente de crecimiento, t = edad actual del organismo y t_0 = edad teórica a la que la longitud es cero.

El t_0 se calculó con la propuesta de Pauly (1983):

$$\text{Log}(-t_0) = -0.3922 - 0.2752 \times \text{Log } L_\infty - 1.038 \times \text{Log } K.$$

Donde:

t_0 = edad teórica a la que la longitud es cero, L_∞ = longitud máxima de la especie y K = coeficiente de crecimiento.

Estimaciones de tasas de Mortalidad y explotación del recurso

El Coeficiente de Mortalidad Total (Z) se calculó con los modelos propuestos por Beverton y Holt (1956) y por Ault y Ehrhardt (1991), los cuales se detallan a continuación:

Modelo de Beverton y Holt

$$Z = \frac{K(L_\infty - L_{med})}{(L_{med} - L')}$$

$$Z = \frac{(L_\infty - L_{max})}{(L_\infty - L')^{Z/K}} = \frac{\{Z(L' - L_{med}) + K(L_\infty - L_{med})\}}{\{Z(L_{max} - L_{med}) + K(L_\infty - L_{med})\}}$$

Donde:

Z = Mortalidad total

L_∞ = longitud máxima de la especie

L' = Punto medio del intervalo de la talla que comienza a ser explotada

L_{med} = Tamaño promedio arriba de L' .

La Mortalidad Natural (M) se estimó con la propuesta de Rikhter and Efanov (1976), cuyo modelo relaciona el promedio de ancho del caparazón de la primera madurez gonadal. El modelo se define de la siguiente manera:

$$M = 1.521 / (T_{m50\%} 0.720) - 0.155$$

Donde:

M = Mortalidad Natural

$T_{m50\%}$ = Edad de los organismos en que se alcanza maduración masiva del 50% del stock (3.5 años).

La Mortalidad por Pesca (F) y la tasa de explotación (E) se calcularon por medio

de los siguientes modelos:

Mortalidad por Pesca (F)

$$F = Z - M$$

Donde:

F = Mortalidad por Pesca

Z = Mortalidad Total

M = Mortalidad Natural

Tasa de Explotación (E)

$$E = F/Z$$

Donde:

F = Mortalidad por Pesca

Z = Mortalidad Total

Se realizó una evaluación del recurso con base en la relación entre rendimiento por recluta relativo (Y'/R) y la tasa media de explotación E (Pauly 1984).

$$Y'/R = E \cdot U^{M/K} \left\{ 1 - \frac{3U}{(1+m)} + \frac{3U^2}{(1+2m)} - \frac{U^3}{(1+3m)} \right\}$$

Donde:

$$U = 1 - (L_c/L_\infty)$$

L_∞ = longitud máxima de la especie

L_c = longitud del caparazón a la primera madurez.

$$m = (1-E) / (M/K) = (K/Z)$$

E = tasa de explotación

M = Mortalidad Natural

Z = Mortalidad total

$$E = F/Z$$

Donde:

E = tasa de explotación

F = Mortalidad por pesca

Z = Mortalidad total.

La biomasa relativa por recluta (B'/R) se estimó mediante la relación $B'/R = (Y'/R)/F$. Los análisis se realizaron con el programa pesquero FISAT II (FAO ICLARM Fish Stock Assessment Tools).

Análisis estadístico

Se calcularon los estadísticos descriptivos (media, moda, mediana, mínimo, máximo y desviación estándar), histogramas de frecuencias y diagramas de caja para las variables morfométricas. Los factores considerados para el análisis estadístico fueron año, mes y sitio de colecta, así como el sexo de los organismos. La Normalidad de los datos se evaluó mediante las pruebas de Kolmogorov-Smirnov (k-S) y Shapiro-Wilk (S-W) y se complementó con la prueba de homogeneidad de varianzas del estadístico de Levene. Si los datos fueron normales, se aplicó una Análisis de la Varianza (ANOVA) paramétrico, seguido de la prueba Tukey HSD (Diferencias Honestamente Significativas) como *post hoc*. Los datos no normales fueron analizados mediante el análisis de la varianza por rangos de Kruskal-Wallis con la prueba de U de Mann-Whitney como post-hoc. Para conocer el efecto simple o simultáneo de los factores, se aplicó un análisis factorial de la varianza. Asimismo, la proporción sexual de los individuos se evaluó con una prueba de bondad de ajuste de tipo binomial. Las pruebas estadísticas fueron seguidas considerando las sugerencias de Zar (1996) y Ferran (2001).

De acuerdo con Clarke y Warwick (1994), en el procedimiento de análisis espacial multivariante, los datos de AC fueron transformados a la cuarta raíz y analizados mediante distancias euclideas representadas en dendrogramas jerárquicos por año y sitio de recolecta. Todas las pruebas estadísticas fueron realizadas a un nivel de significación de $\alpha = 0.05$. Los análisis se efectuaron en los paquetes informáticos SPSS 17.0 (Statistical Package for the Social Science), PRIMER 5.1 (Plymouth Routines for Multivariate Environment Research) y Microsoft Excel.

Diseño de propuesta de manejo sostenible de la pesca artesanal

Se integró la información generada mediante los diferentes procedimientos de análisis realizados en este estudio, a efecto de diseñar una propuesta de manejo pesquero sostenible para *Ucides occidentalis* en la cuenca baja del río Lempa-Bahía de Jiquilisco. Para ello se tomó en cuenta el Enfoque de Ecosistemas en la Pesca (EEP), antecedentes y contextos relevantes de la pesca artesanal.

La propuesta se elaboró sobre la base de los niveles biológicos, ecológicos y socioeconómicos. Esta herramienta fortalecerá el Plan Local de Extracción Sostenible (PLES) del Sector Occidental de la Bahía de Jiquilisco y será sometida a consideración del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN). Finalmente se diseñó y validó a nivel local, un instrumento de monitoreo local del stock, a ser implementado por el equipo de guarda recursos de la zona.

Análisis de Resultados

Estadística básica

Se analizaron un total de 1,460 individuos, correspondientes a 682 hembras (47%) y 778 (53%) machos (cuadro 2), registros de proporción sexual que mostraron diferencias significativas ($p < 0.05$) según la prueba de bondad de ajuste de tipo binomial. A nivel general, el AC mostró un promedio de 62.15 (± 8.72) mm, desde 36 mm hasta 85.87 mm El promedio de AC de las hembras fue de 59.96 (± 7.06) mm, mientras que el promedio de AC de los machos fue mayor en unos 4 mm (64.07 ± 9.55). El valor máximo de AC fue observado en los machos (85.87 mm), que mostraron una diferencia aproximada de 9 mm con respecto del valor máximo de las hembras. El peso promedio general fue de 106.88 g (± 37.55), con los machos (114.86 ± 42.10 g), mostrando mayor peso promedio que las hembras (97.77 ± 29.04 g). El mayor valor de peso correspondió a los machos (240.70 g), superando al de las hembras por más de 70 g.

Agrupamiento y dispersión

En general, los organismos capturados presentaron medidas de AC entre 50 y 80 mm, con la mayor congregación en torno a los 60-70 mm El LC fue registrado en el ámbito de 30-70 mm y el GC entre 40 y 50 mm Los resultados de AC por sitio de colecta revelaron comparativamente valores agrupados más altos en Las Trompetas, El Horno, El Dorado, La Conquista y El Varal. Los datos de LC y GC se agruparon en torno a los 40 mm.

Cuadro 2. Estadística Básica de parámetros biométricos (general, hembras y machos) de *Ucides occidentalis*.

Parámetros	General (n = 1,460)			Hembras (n = 682)			Machos (n = 778)		
	Promedio	Mínimo	Máximo	Promedio	Mínimo	Máximo	Promedio	Mínimo	Máximo
AC (mm)	62.15 \pm 8.72	36.00	85.87	59.96 \pm 7.06	40.07	77.00	64.07 \pm 9.55	36.00	85.87
LC (mm)	45.79 \pm 5.86	30.20	73.04	45.63 \pm 5.45	30.20	62.10	45.93 \pm 6.20	31.70	73.04
GC (mm)	37.15 \pm 4.91	24.00	66.00	37.83 \pm 5.18	24.00	66.00	36.55 \pm 4.58	25.00	56.35
Peso (g)	106.88 \pm 37.55	26.20	240.70	97.77 \pm 29.04	26.20	177.20	114.86 \pm 42.10	31.00	240.70

Se observó una tendencia de crecimiento anual moderado, pero sostenido del AC desde 2007 hasta 2012. El LC y GC mostraron también una tendencia gradual de incremento. Las variaciones mensuales estuvieron marcadas por diferencias entre los meses de la época lluviosa y aquellos de la época seca, dando como resultado, diferencias estacionales en los datos de todas las medidas biométricas.

Los resultados de AC por sexo, indican claramente mayores tamaños para los machos que se agruparon principalmente entre 60 y 70 mm, mientras que las hembras se presentaron con tamaños aglomerados en su mayoría en torno a los 50.50 y 60.50 mm. Similar resultado presentó el LC. El GC fue el único parámetro biométrico en que las hembras presentaron mayores valores que los machos debido a que las hembras presentan maduración ovárica y ensanchamiento abdominal luego de la cópula, mientras se desarrollan los embriones para su posterior liberación en la marea.

El peso de los organismos mostró diferencias en cuanto a los sitios de recolecta, observándose a El Dorado, El Varal y La Conquista con los valores agrupados más altos. Los resultados de peso por año revelaron una tendencia estable de 2007 a 2009, incrementándose levemente en 2010, para luego aumentar significativamente en 2012. En general, el peso de los organismos fue mayor durante los meses secos. Claramente, los machos fueron más grandes en comparación con las hembras.

Comparaciones estadísticas univariantes

El análisis de la varianza por rangos de Kruskal-Wallis, encontró diferencias significativas (p menor < 0.05) de las medidas biométricas en los sitios de muestreo. Tales diferencias, también fueron registradas por estudios anteriores para esta misma zona (Rivera, 2008, 2010a). La prueba de comparaciones múltiples U de Mann-Whitney, reveló que el AC presenta diferencias significativas (p menor < 0.05), que configuran básicamente cuatro grupos de estaciones: 1) Las Trompetas, El Horno y El Dorado al Noreste, 2) El Lodo y El Cebollal al Noroeste, 3) El Varal y La Conquista al Suroeste y, 4) El Brujo y El Ajalín al Sureste.

Se observó que todos los parámetros biométricos presentaron una distribución normal (p menor < 0.05) por año de recolecta. El análisis de varianza paramétrico para el peso y por rangos de Kruskal-Wallis para AC, LC y GC, mostraron diferencias significativas a través de los años analizados. Las comparaciones múltiples con Tukey HSD y U de Mann Whitney para los años de colecta, indicaron la configuración de dos grupos (p menor < 0.05), ellos son: 1) 2007 y 2008, y 2) 2009, 2010 y 2012.

Los datos de AC, LC y GC presentaron normalidad en los meses de la época seca y las transicionales, mientras que, para el peso, enero fue el único mes que no mostró valores normales (p menor < 0.05). El análisis de varianza por rangos de Kruskal-Wallis detectó diferencias significativas de todos los parámetros biométricos en todos los meses de colecta. Las comparaciones múltiples con la prueba U de

Mann Whitney, detectaron diferencias significativas (p menor < 0.05) de los datos biométricos a lo largo de los meses del año, según las épocas estacionales y las transiciones de las mismas, lo cual es coincidente con los hallazgos de Rivera (2010a) para la misma zona.

Comparaciones estadísticas multivariantes

El análisis espacial de las estaciones de colecta mediante dendrogramas jerárquicos basados en similitudes de los datos, mostró consistentemente tres agrupamientos: 1) El Cebollal y El Lodo, 2) El Horno, Las Trompetas y El Dorado y, 3) El Ajalín y El Brujo. Considerando estos hallazgos y complementándolos con los resultados de los análisis univariados, la pesca artesanal de *Ucides occidentalis* podría ser convenientemente manejada a nivel espacial como cuatro sectores, dos al Norte y dos al Sur del Canal El Izcanal (Fig. 2, cuadro 3).

Los resultados del análisis factorial de varianza, mostraron que los parámetros biométricos AC y Peso se encuentran influenciados tanto por factores poblacionales, espaciales o temporales (sexo, año, mes o sitio de colecta) de manera individual como por determinadas combinaciones de los mismos. En concordancia con los resultados de este estudio, otras contribuciones (Rivera, 2010, Rivera y Córdova, 2010) han detectado variaciones en los registros de AC y de peso, que indican incrementos progresivos en los valores de estos parámetros desde 2007. No obstante, los resultados muestran que tales variaciones estarían determinándose también por el efecto combinado de los factores espaciales (sitios de recolecta) y poblacionales (sexo de los organismos).

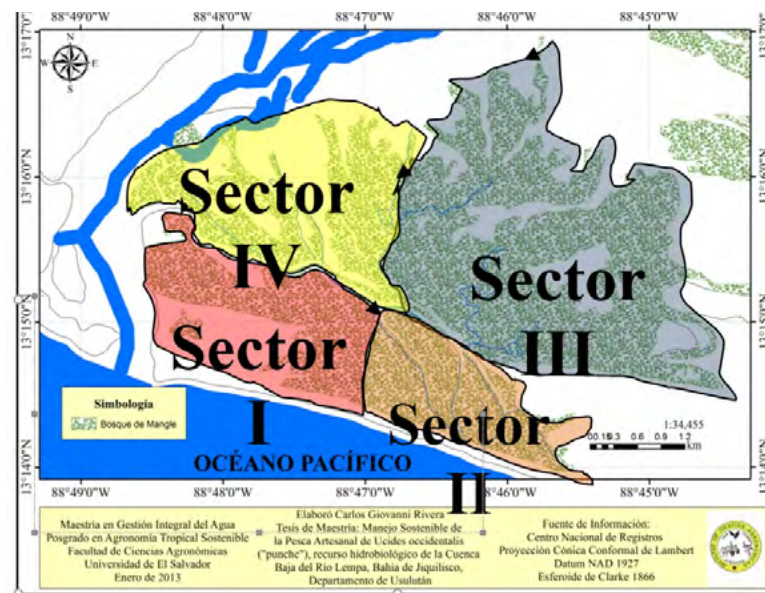


Figura 2. Propuesta de zonificación para el manejo pesquero sostenible de *Ucides occidentalis*.

Cuadro 3. Sectorización para el manejo pesquero sostenible de *Ucides occidentalis*.

Sector	Ubicación y límites	Observaciones
I	Sur-Oeste del Canal El Izcanal, desde la comunidad Isla Montecristo hasta el Varal.	Zona de gran potencial para la conservación, gracias a los esfuerzos de la comunidad Isla Montecristo.
II	Al Sur-Este del Canal El Izcanal, desde El Brujo al Ajalín	Esta zona presenta algún grado de conservación que podría hacer viables acciones de conservación. Existen algunas zonas agrícolas de gran extensión aledañas que zonifican al manglar.
III	Nor-Este del Canal El Izcanal, desde el cañón El Palma a la zona Norte de la Tirana, incluye Las Trompetas, El Horno, El Dorado, El Rico y las zonas aledañas a la comunidad La Tirana.	La producción de la zona ha sido particularmente alta por muchas décadas hasta que comenzó a declinar en años recientes. La zona es aprovechada por las comunidades Las Mesitas, La Canoita, La Chacastera, La Tirana y otras foráneas.
IV	Nor-Oeste del Canal El Izcanal, del cañón El Palma al río Lempa. Se ubican las comunidades Los Lotes y La Babilonia.	Esta es la zona con más degradación del sector por causa de la presión agrícola. Es fuertemente afectada por los fenómenos de desbordamiento del río Lempa e inundaciones.

Relación de Medidas Biométricas

Los modelos de regresión que mejor se ajustan a la relación entre las variables biométricas AC y peso (cuadro 4), indican que la población de *Ucides occidentalis* presenta un crecimiento alométrico negativo en términos generales y para los sexos independientes, Al aplicar la prueba “t” de Student, se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$) de esos coeficientes con el $\beta = 3$, que indicaría crecimiento isométrico (Ricker, 1975). El análisis de covarianza (ANCOVA) entre el peso y el AC, utilizando el sexo de los organismos como co-variable, mostró una relación estadísticamente significativa ($p < 0.05$).

Los hallazgos implican que la especie pesa menos en proporción con su crecimiento en tamaño, lo que podría relacionarse entre otras razones con limitaciones alimentarias que afectan a la población en el ecosistema, puesto que Rivera y Córdova (2010), registraron únicamente el 38% de los individuos en la zona con estómagos completamente llenos e indicios de periodos alimentarios limitantes en el ecosistema. Los resultados de este estudio son coincidentes con lo reportado para esta especie en Guanacaste, Costa Rica (Cabrera *et al.* 1994) y en Ecuador (Solano, 2009).

Cuadro 4. Modelos de Relación entre los parámetros biométricos de *Ucides occidentalis*.

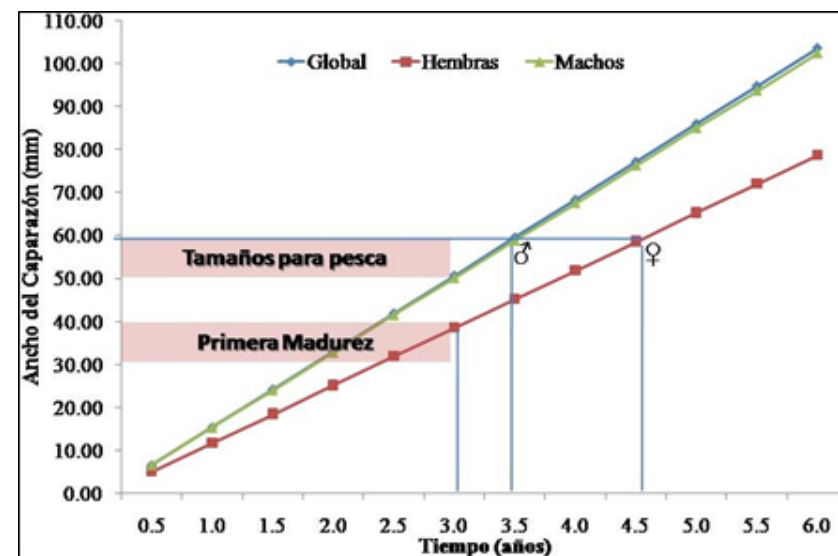
Categoría	Modelos de regresión ^a		
	AC-Peso	AC-LC	AC-GC
General	$y = 0.005x^{2.362}$ ($r^2 = 0.816$, $p < 0.05b$)	$y = 1.714x^{0.795}$ ($r^2 = 0.775$, $p < 0.05b$)	$y = 2.208x^{0.683}$ ($r^2 = 0.560$, $p < 0.05b$)
Machos	$y = 0.007x^{2.300}$ ($r^2 = 0.802$, $p < 0.05b$)	$y = 1.883x^{0.767}$ ($r^2 = 0.767$, $p < 0.05b$)	$y = 2.263x^{0.668}$ ($r^2 = 0.674$, $p < 0.05b$)
Hembras	$y = 0.003x^{2.501}$ ($r^2 = 0.827$, $p < 0.05b$)	$y = 0.950x^{0.945}$ ($r^2 = 0.878$, $p < 0.05b$)	$y = 1.046x^{0.875}$ ($r^2 = 0.623$, $p < 0.05b$)

Parámetros de crecimiento

Los parámetros de crecimiento de *Ucides occidentalis*, arrojaron como resultado valores de L_{∞} de 88.20 mm global, 87.15 mm machos y 78.75 mm hembras y k de 0.20 global y para machos, y 0.17 hembras. El W_{∞} alcanzó 246.75 g globalmente y para los machos, y 168 g para las hembras. La F_i prima de Munro ϕ' (Munro y Pauly, 1983), que para este estudio fue estimado en 3.19, es un parámetro usualmente utilizado para comparar poblaciones de la misma especie, pertenecientes a diferentes stocks, procedimiento que ha sido utilizado para la especie hermana del Atlántico *Ucides cordatus* (Da Rocha, 2006) y para otros brachiuros litorales (Hernández y Arreola, 2007, Castillo *et al.*, 2011).

Las longitudes máximas de AC estimadas para *Ucides occidentalis*, mostraron claramente mayores valores para los machos (91.08 mm) que para las hembras (80.13 mm). Los datos teóricos estimados que ocurrirían naturalmente en el stock – de hecho, se cuenta con datos históricos de 15 años atrás, cuando extractores recuerdan que el stock alcanzaba estas tallas (González, com. Pers.) –, son superiores a los 83 mm para machos y 75 mm para hembras reportados por Fisher *et al.* (1995).

Los datos de ELEFAN I graficados en el modelo Von Bertalanffy (Fig. 3), revelaron que la talla de primera madurez determinada en 40.07 mm (Rivera, 2010b), es alcanzada por las hembras de la población después de los 3 años de edad. Es importante destacar que las tallas apropiadas para la pesca que pueden situarse > 60 mm, son alcanzadas por los machos a los 3.5 años y a los 4.5 años por las hembras.

Figura 3. Gráfico de crecimiento de *Ucides occidentalis* mediante los modelos de Von Bertalanffy.

Probabilidad de captura

Los análisis mostraron que los organismos con AC de 61.50 mm (global), 59 mm (machos) y 62 mm (hembras), tienen un 50% de probabilidad de captura, mientras que aquellos con 77 mm (global), 70 mm (machos) y 67 mm (hembras), tienen un 75% de probabilidad de captura. Estos hallazgos reflejan un panorama alentador para la implementación de medidas de ordenamiento pesquero que dirijan el esfuerzo a organismos con tallas superiores a los 60 mm, tal como quedó establecido en el Plan Local de extracción Sostenible (PLES) de la zona.

Mortalidad y Reclutamiento

La estimación de los coeficientes de mortalidad de *Ucides occidentalis*, tuvo como resultado valores similares de mortalidad total (Z) para los modelos de Veberton y Holt (2.423) y de Ault y Ehrhardt (2.413), cabe señalar que este último modelo fue especialmente diseñado para especies tropicales de vida corta (Rosas y Navarrete, 2008). Las estimaciones de mortalidad natural (M) obtuvieron resultados similares en los modelos de Rikhter y Efanov (0.457) y Pauly (0.4529). Aún cuando han sido concebidos para la estimación de M en peces (Sparre y Venema, 1997), han sido utilizados con frecuencia en los análisis de stocks de cangrejos tropicales (Da Rocha, 2007, Rosas y Navarrete, 2008). Finalmente, el cálculo de la mortalidad por acción directa de la pesca (F) fue de 1.956 para la población de *Ucides occidentalis*.

El patrón de reclutamiento del stock de *Ucides occidentalis* (cuadro 5) inicia en enero (9.30%) y finaliza en noviembre (7.31%) de cada año. Más de la mitad del reclutamiento (53%) ocurre en el periodo de marzo a junio. Ese periodo coincide con altas actividades reproductivas que culminan con las “corridas” y forma parte del ciclo reproductivo caracterizado por más del 60% de hembras en reproducción (Rivera, 2010b). Cabe destacar que la especie se reproduce a lo largo del año, pero la entrada de reclutas estaría, en mayor medida, condicionada por sus patrones reproductivos masivos y por su dinámica larval. De hecho, observaciones de los componentes zooplanctónicos realizadas por Cuéllar (2010), mostraron agregaciones de larvas de cangrejos de *Ucides occidentalis* en torno a Isla de Montecristo, debido a que el delta frente al canal El Izcanal actúa como barrera natural que evita su dispersión fuera del ecosistema de manglar abordado por este estudio. Consecuentemente, se esperaría que la re-circulación larval en el mismo ecosistema, permita el mantenimiento de abundancias considerables de la especie en la zona.

Tasa de Explotación del Recurso

La tasa de explotación (E) de *Ucides occidentalis* en la cuenca baja del río Lempa, calculada mediante la razón F/Z fue de 0.81, resultado inferior a la tasa máxima de explotación estimada con el análisis de rendimiento por recluta relativo, que fue de 1.0. No obstante, con una tasa de explotación actual tan elevada, no podría incrementarse el esfuerzo pesquero sin poner en peligro la viabilidad del stock.

Uno de los aspectos relevantes en el análisis de posibles escenarios de búsqueda de la tasa óptima de explotación del recurso ($E_{max} = 50\%$), es que los parámetros L_{∞} (88.20 mm), el AC al que inicia la explotación (60 mm), k (0.20) y M (0.457), son estimaciones estables y que Z disminuye –y consecuentemente decrecen F y E– en tanto más se alejan el AC promedio (62.15 mm) del AC que inicia la explotación (60 mm). En esa secuencia lógica la tasa óptima de explotación del recurso podría ser alcanzada con un AC promedio de 65-66 mm

Cuadro 5. Patrones de reclutamiento de *Ucides occidentalis*.

Mes	Patrón de reclutamiento (Porcentaje)
Enero	9.30
Febrero	7.77
Marzo	12.68
Abril	12.96
Mayo	14.37
Junio	13.01
Julio	6.86
Agosto	7.45
Septiembre	3.41
Octubre	4.88
Noviembre	7.31
Diciembre	0.00

Propuestas para un Manejo Pesquero Sostenible

Como resultado de la integración de los diferentes elementos de análisis desarrollados en esta contribución, se elaboró una Propuesta de Manejo Pesquero Sostenible para *Ucides occidentalis* en la Cuenca Baja del río Lempa-Bahía de Jiquilisco (cuadro 6). En concordancia con el EEP y los principios ecosistémicos, se diseñó fundamentada sobre los niveles biológicos, ecológicos y socioeconómicos. Adicionalmente, El instrumento de monitoreo local fue validado en un Taller Participativo el 28 de diciembre de 2012, actividad centrada en el entrenamiento del equipo de Guarda recursos, a efecto de implementar el instrumento una vez al mes en al menos un sector al Norte y otro al Sur del canal El Izcanal durante 2013

Objetivos	Metas	Actividades	Tiempo de ejecución	Responsable(s)	Indicadores
Nivel Biológico					
Mantener el stock en niveles sustentables	Incrementar el tamaño promedio de la población a 65 mm	Mantener en 60 mm la talla mínima de extracción.	2013-2014	Extractores Guarda recursos	Tamaños de Capturas
		Evitar la extracción de juveniles (< 60 mm de AC)	Permanente	Guarda recursos MARN CENDEPESCA	Registro de capturas
	Aplicar un esfuerzo pesquero sustentable	Iniciar registro formal y carnetización de usuarios(as)	2013-2014	CENPESCA MARN	Número de usuarios(as) carnetizados.
		Mantener una proporción de capturas en una proporción 2:1 machos y hembras	Permanente	Guarda recursos MARN CENDEPESCA	Registros de capturas
		Establecer una zona de reserva sin explotar en el Varal-El Brujo	2014	Guarda recursos MARN	Hectáreas declaradas
		Declarar un periodo de veda (Mayo a Julio) coincidente con los periodos de mayor reclutamiento de la especie.	2014-2016	MARN CENDEPESCA Usuarios(as)	Acuerdos Ministeriales.
		Actualizar información del esfuerzo pesquero constantemente	Permanente	Guarda recursos	Hojas de registro
		Mantener la tasa de explotación del stock en un 50%	Monitorear las tasas de mortalidad total, natural y por efecto de la pesca y otros parámetros biológicos y ecológicos	Permanente	CENDEPESCA MARN organismos no gubernamentales Universidades
Evaluar los efectos de fenómenos naturales en el stock y sobre el ecosistema					
Nivel Ecológico					
Desarrollar actividades pesqueras en armonía con el ecosistema	Se aplica extracción sostenible del recurso (pesca responsable)	Utilizar únicamente artes de pesca autorizadas y que no perjudiquen el ecosistema	Permanente	Guarda recursos Usuarios(as)	Registros de Guarda recursos.
		Restauración de zonas degradadas de manglar	Permanente	Guarda recursos Usuarios(as) Todas las comunidades	Hectáreas restauradas
		Desarrollar capacitaciones a usuarios(as) del recurso	Permanente	Organismos estatales, no gubernamentales, universidades.	Número de capacitaciones impartidas
Nivel Socioeconómico					
Procurar la eficiencia económica de la pesca artesanal	Crear una cooperativa de puncheros del bajo Lempa	Legalizar una cooperativa de puncheros	2014-2015	CENDEPESCA Asociaciones Agropecuarias	Acta de constitución
		Elaborar un Plan de Negocios de mecanismos justos de comercio	2014-2015	Organismos no gubernamentales	Plan de negocios elaborado. Estudios de mercado.
		Construir un centro de acopio y comercialización comunitario	2015-2016	CENDEPESCA Organismos de la cooperación internacional	Comprobantes de ventas. Infraestructura edificada.
Establecer mecanismos efectivos de participación de usuarios(as)	Manejo pesquero participativo en todo el sector	Conformar un grupo local de puncheros	2014-2015	MARN Organismos no gubernamentales	Actas de reuniones y toma de acuerdos
		Desarrollar reuniones periódicas	Permanente	Grupo local	

Conclusiones

El presente estudio que fue orientado al manejo sostenible de la pesca artesanal de *Ucides occidentalis*, ha generado conocimiento nuevo e insumos relevantes para alcanzar mejores niveles de gestión de ese recurso hidrobiológico en el bajo Lempa y Bahía de Jiquilisco, además de constituir un ejercicio pionero de aplicación de modelos analíticos a esta pesca artesanal en la región centroamericana.

Los machos de la población fueron por lo general más grandes y más pesados que las hembras y ocurrieron en mayor proporción, las medidas biométricas de la especie han incrementado gradualmente en los últimos siete años, indicando que las medidas de conservación implementadas como es el caso de la veda en el canal El Izcanal y la ejecución del PLES, han tenido impacto positivo en la recuperación del ecosistema en general y en el stock de *Ucides occidentalis*, lo que está siendo beneficioso para las más de cien familias dedicadas a esta pesca artesanal.

El promedio de captura (62.15 mm) se encuentra por lo menos a dos eventos masivos de reproducción anuales conocidos como “corridas”, lo que se traduce en una garantía de renovación del stock. Aun así, debe tomarse en cuenta que la extracción de juveniles (menos de < 60 mm) y la degradación del manglar podrían conllevar a una sobre pesca de individuos grandes.

La pesca artesanal de *Ucides occidentalis* se configura en el plano espacial en cuatro sectores claramente diferenciados, dos al Norte y dos al Sur del canal El Izcanal, mientras que en el ámbito temporal, se observan indicios claros de estacionalidad que separan los hallazgos en las épocas secas, lluviosas y transicionales. Estos factores, también ejercen influencia de manera combinada sobre las medidas biométricas.

El crecimiento que exhibe la especie es alométrica negativa, es decir, pesan menos en proporción de su crecimiento en tamaño y es probable que presenten algunas limitaciones alimentarias en el ecosistema, debidas a la degradación o eliminación de zonas boscosas.

La tasa de crecimiento de *Ucides occidentalis* (k) de 0.20, se considera baja y hace a la especie vulnerable a la sobre explotación, especialmente de los individuos con tamaños de AC mayores, tomando en cuenta que son susceptibles en un 75% a la captura comercial. De hecho, la mortalidad ocasionada por la actividad pesquera tiene efecto más pronunciado en la población de la especie a partir de los 60 mm de AC.

El patrón de reclutamiento del stock, es decir, el ingreso de organismos aptos para reproducirse en la población, ocurre de enero a noviembre de cada año, pero más de la mitad del ingreso de reclutas ocurre de marzo a junio, coincidiendo con las épocas de reproducción masiva de la especie.

La tasa de explotación de la pesca artesanal de *Ucides occidentalis* se encuentra muy cercana a la tasa máxima teórica o límite para la sobre explotación. De continuar esta tendencia, ligeros incrementos de esfuerzo pesquero algunos fenómenos naturales podrían poner en peligro la viabilidad del stock. La alternativa más viable para llegar a una tasa óptima de explotación estaría vinculada a alcanzar un incremento del promedio de ancho del caparazón a 65 mm

El proceso de manejo del ecosistema de manglar y sus recursos asociados en la cuenca baja del río Lempa, Bahía de Jiquilisco, ha contado con notables herramientas y regulaciones que han permitido observar cambios favorables. Actualmente se encuentra en etapa de fortalecimiento. En esa vía se presenta la Propuesta de Manejo Sostenible de la Pesca Artesanal, diseñada en este estudio, bajo el Enfoque de Ecosistemas en la Pesca (EEP), que incluye objetivos, metas, actividades, fechas probables de ejecución, responsables e indicadores.

Recomendaciones

Las propuestas de manejo sostenible de la pesca artesanal, bajo el Enfoque de Ecosistemas en la Pesca (EEP), que deberían implementarse en la zona, deben considerar los aspectos biológicos, ecológicos y socioeconómicos que garanticen su sostenibilidad.

Establecer mecanismos que permitan mantener el stock en niveles sustentables, desarrollar actividades pesqueras en armonía con el ecosistema, procurar la eficiencia económica de la pesca artesanal y establecer mecanismos efectivos de participación de usuarios (as).

Fomentar la aplicación de un esfuerzo pesquero sustentable, mediante el registro y carnetización de usuarios (as), mantenimiento de la proporción de captura 2:1 de machos-hembras, declarar un periodo de veda según el periodo de mayor reclutamiento de la especie y actualizar la información del esfuerzo pesquero constantemente.

Considerar la implementación de medidas de ordenamiento y gestión del ecosistema con base en la zonificación propuesta en este estudio, de tal manera que se apliquen medidas de protección del bosque de manglar en los Sectores III y IV y se establezca una zona de reserva sin explotar en el Sector I o II.

Promover el incremento del tamaño promedio del Ancho del Caparazón del stock, manteniendo la talla mínima de extracción en 60 mm y evitando la extracción de juveniles menores de < 60 mm

Mantener la tasa de explotación del stock por debajo del 50% y evaluar los efectos de los fenómenos naturales a través de un monitoreo, que continúe profundizando su conocimiento y permita disponer de insumos científicos sólidos para el fortalecimiento de medidas actuales o el diseño de nuevas estrategias que garanticen la sostenibilidad de la pesquería.

Aplicar extracción sostenible del recurso con artes de pesca autorizadas, restauración del ecosistema y fortalecimiento de capacidades locales.

Crear una cooperativa de puncheros, elaborar un plan de negocios y edificar un centro de acopio comunitario del recurso.

Procurar un manejo participativo del recurso, mediante la conformación de un grupo local de usuarios (as) que se vinculen directamente al manejo pesquero y desarrollen reuniones de intercambio y reflexión periódicamente.

Bibliografía

- Alongi, D. 2009. The Energetics of Mangrove Forest. Springer. Estados Unidos. 216 pp.
- Ault, J; Ehrhardt, N. 1991. Correction to the Beverton and Holt Z-estimator for truncated catch length-frequency distributions. ICLARM Fishbyte 9 (1): 37-39.
- Beverton, R; Holt, S. 1956. A review of methods for estimating mortality rates in exploited fish population, with special reference to sources of bias in catch sampling. Rapp. P. V. Réun. CIEM, 140: 67-83.
- Cabrera, J; Vives, F; Solano, Y. 1994. Tamaños y proporción sexual de *Ucides occidentalis* (Crustacea: Gecarcinidae) en un manglar de Costa Rica. Uniciencia 11 (1): 97-99.
- Camilleri, J. 1989. Leaf choice by crustaceans in a mangrove forest in Queensland. Marine Biology 102: 453-459.
- Camilleri, J. 1992. Leaf-litter processing by invertebrates in a mangrove forest in Queensland. Marine Biology 114: 139-145.
- Castillo, J; Eslava, N; González, L. 2011. Crecimiento del cangrejo *Callinectes danae* (Decapoda: Portunidae) de la Isla de Margarita, Venezuela. Revista de Biología Tropical 59 (4): 1525-1535.
- Clarke, K; Warwick, R. 1994. Changes in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation. Plymouth: Plymouth Marine Laboratory, Reino Unido. 144 pp.
- Cuéllar, T. 2010. Composición y abundancia del Zooplancton. p. 83-99. En: Rivera, C. G. y Cuéllar, T. El Ecosistema de Manglar de la Bahía de Jiquilisco. Sector Occidental. San Salvador, El Salvador. 231 p.
- Da Rocha, A. 2006. Fishery statistics and commercialization of the mangrove crab, *Ucides cordatus* (L.), in Bragança – Pará – Brazil. Tesis Doctoral. Universidad de Bremen. 176 pp.

- Díaz, I; Jiménez, I; de Lope, M; Sánchez- Mármol, L; Sánchez, E. 2004. Plan de Manejo del Área Natural Bahía de Jiquilisco. MARN (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, sv) y AECI (Agencia Española de Cooperación Internacional, es). San Salvador, El Salvador. 245 p.
- Emmerson, W; Mc Gwynne, L. 1992. Feeding and assimilation of mangrove leaves by the crab *Sesarma meinerti* de Man in relation to leaf-litter production in Mgazana, a warm-temperate southern African mangrove swamp. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 157: 41-53.
- Ferran, A. 2001. SPSS para Windows. Análisis Estadístico. Editorial McGraw Hill. España. 480 pp.
- Fisher, W; Krupp, F; Schneider, W; Sommer, C; Carpenter, K; Niem, V. 1995. Guía FAO para la identificación de especies para los fines de pesca. Pacífico Centro-Oriental. Vol. I. Plantas e Invertebrados. FAO, Roma. 646 p.
- Guyanilo, F; Pauly, D. 1997. FAO-ICLARM stock assessment tools (FiSAT). Reference manual. FAO Computerized Information Series (Fisheries) 8 (1): 1-262.
- Guyanilo, F; Sparre, P; Pauly, D. 2002. The FAO-ICLARM Stock Assessment Tools (FiSAT) User's Guide. FAO Computerized Information Series 1 (1): 1-168.
- Hernández, L; Arreola, J. 2007. Estructura de tallas y crecimiento de los cangrejos *Callinectes arcuatus* y *C. bellicosus* (Decapoda: Portunidae) en la laguna costera Las Guásimas, México. *Revista de Biología Tropical* 55 (1): 225-233.
- Hogarth, P. 1999. *The Biology of Mangroves*, Oxford University Press. Estados Unidos. 228 p.
- Jones, D. 1984. Crabs of the mangal ecosystem. En: Por, D.; Dor, I.; Hydrobiology of the mangal. Junk, The Hague, pp. 89-110.
- Koch, V; Wolff, M. 2002. Energy budget and ecological role of mangrove epibenthos in the Caeté estuary, North Brazil. *Marine ecology progress series* 228: 119-130.
- Lacerda, L. 2001. *Mangrove Ecosystems. Function and Management*. Springer Verlag. Alemania. 292 p.
- Lee, S. 1997. Potential trophic importance of the faecal material of the mangrove sesarmide crab *Sesarma messa*. *Marine ecology progress series* 159: 275-284.
- Lee, S. 1998. Ecological role of grapsid crabs in mangrove ecosystems: a review. *Marine and freshwater research* 49: 335-343.
- Little, M; Reay, P; Grove, S. 1988. The fish community of an East African mangrove creek. *Journal of Fish Biology* 32: 729-747.
- Lugo, A; Snedaker, S. 1974. The ecology of mangroves. *Annual review of ecology and systematics* 5: 39-64.
- MARN (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, SV); VMVDU (Vice Ministerio de Vivienda y Desarrollo Urbano, SV). 2003: Plan Nacional de Ordenamiento y Desarrollo Territorial. IBERINSA/EPYPSA. Varios volúmenes.
- Montgomery, D. 2002. *Diseño y análisis de experimentos*. Segunda Edición. Limusa Wiley. 686 p.
- Munro, J; Pauly, D. 1983. A simple method for comparing the growth of fishes and invertebrates. *ICLARM Fishbyte*. 1 (1): 5-6.
- Nordaus, I. 2003. Feeding ecology of the semi-terrestrial crab *Ucides cordatus cordatus* (Decapoda: Brachyura) in a mangrove forest in northern Brazil. *Doktors der Naturwissenschaften (Dr. rer. nat.)*. Zentrum für Marine Tropenökologie (ZMT). Universität Bremen. 203 p.
- Nordhaus, I; Wolff, M; Diele, K. 2005. Litter processing and population food intake of the mangrove crab *Ucides cordatus* in a high intertidal forest in northern Brazil. *Estuarine Coastal and Shelf Science*. 67: 239-250.
- Odum, W; Heald, E. 1972. Trophic analyses of an estuarine mangrove community. *Bulletin of Marine Science* 22(3): 671-738.
- Pauly, D. 1983. Algunos métodos simples para la evaluación de recursos pesqueros tropicales. *FAO Documentos Técnicos de Pesca* 234 (1): 1-49 p.
- PNUMA (Programa de las Naciones Unidas Para el Medio Ambiente, pa); MARN (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, sv). 2007. GEO El Salvador 2003-2007. Informe del Estado del Medio Ambiente de El Salvador. El Salvador. 161 p.
- Ramos-Cruz, S. 2008. Estructura y parámetros poblacionales de *Callinectes arcuatus* Ordway, 1863 (Decapoda: Portunidae), en el sistema lagunar La Joya-Buenavista, Chiapas, México. Julio a diciembre de 2001. *Panamerican Journal of Aquatic Research* 3(3): 259-268.
- Ricker, W. E. 1975. Computation and interpretation of biological statistics of fish populations. *Fishery Bulletin Research Board of Canada*. p. 191- 395.
- Rikhter, V; Efanov, V. 1976. On one of the approaches to estimation of natural mortality of fish populations. *ICNAF Research Document* 79 (6/8). 12 p.
- Rivera, CG. 2008. Manejo sostenible de la pesca artesanal de punches (*Ucides occidentalis*) en los manglares del Sector Occidental de la Bahía de Jiquilisco. p. 33-483 En: Rivera, C. G. et al. (Eds.). Diagnóstico ambiental 300 mz de bosque salado de la zona sur occidental de la bahía de Jiquilisco, Construcción de letrinas aboneras, y mantenimiento de la reforestación de bosque dulce en la comunidad Las Mesitas, Usulután. FIAES/MANGLE. 71 p.

- Rivera, CG. 2009. Diagnóstico socio-económico de ocho Comunidades del Sector Occidental de la Bahía de Jiquilisco, Departamento de Usulután. Proyecto Académico Especial Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de El Salvador (ICMARES), Universidad de El Salvador-Asociación Local Mangle para la Mitigación de desastres y el Desarrollo del Bajo Lempa y Bahía de Jiquilisco. San Salvador, El Salvador. 59 p.
- Rivera, CG. 2010a. Morfometría, distribución y abundancia de *Ucides occidentalis*. P. 137-156. En: Rivera, C. G. y Cuéllar, T. El Ecosistema de Manglar de la Bahía de Jiquilisco. Sector Occidental. San Salvador, El Salvador. 231 p.
- Rivera, CG. 2010b. Biología Reproductiva de *Ucides occidentalis*. P. 157-184. En: Rivera, CG.; Cuéllar, T. El Ecosistema de Manglar de la Bahía de Jiquilisco. Sector Occidental. San Salvador, El Salvador. 231 p.
- Rivera, CG; Córdova, D. 2010. Ecología alimentaria de *Ucides occidentalis*. P. 185-198. En: Rivera, C. G. y T. Cuéllar. El Ecosistema de Manglar de la Bahía de Jiquilisco. Sector Occidental. San Salvador, El Salvador. 231 p.
- Rivera, CG; Cuéllar, T. 2010. El Ecosistema de Manglar de la Bahía de Jiquilisco. Sector Occidental. San Salvador, El Salvador. 231 p.
- Robertson, A. 1986. Leaf-burying crabs: their influence on energy flow and export from mixed mangrove forests (*Rhizophora* spp.) in northeastern Australia. *Journal of experimental marine biology and ecology* 102: 237-248.
- Robertson, A; Alongi, D. 1992. Tropical Marine Ecosystems: Coastal and Estuarine Studies. Washington, D.C., American Geophysical Union. Estados Unidos. 329 p.
- Robertson, A; Daniel, P. 1989. The influence of crabs on litter processing in high intertidal mangrove forests in tropical Australia. *Oecologia* 78 (1): 191-198.
- Robertson, A; Duke, N. 1987. Mangroves as nursery sites: comparisons of the abundance and species composition of fish and crustaceans in mangroves and other nearshore habitats in tropical Australia. *Marine Biology* 96 (1): 193-205.
- Robertson, A; Duke, N. 1990. Mangrove fish-communities in tropical Queensland, Australia: spatial and temporal patterns in densities, biomass and community structure. *Marine Biology* 104 (1): 369-379.
- Rosas, C; Navarrete, A. 2008. Parámetros poblacionales de la jaiba azul *Callinectes sapidus* (Rathbun, 1896) en la bahía de Chetumal, Quintana Roo, México. *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 43 (2): 247-253.
- Sasekumar, A; Chong, V; Leh, M; D´Cruz, R. 1992. Mangroves as a habitat for fish and prawns. *Hydrobiologia* 247 (1): 195- 207.
- Schories, D; Barletta-Bergan, A; Barletta, M; Krumme, U; Mehlig, U; Rademaker, V. 2003. The keystone role of leaf-removing crabs in mangrove forests of North Brazil. *Wetlands Ecology and Management* 11 (1): 243-255.
- Shepherd, J. 1987. A weakly parametric method for estimating growth parameters from length composition data, En: Pauly, D; Morgan, M. (eds). Length-based methods in fisheries research. ICLARM Conf. Proc. 13. p. 113- 119.
- Solano, F. 2009. Aspectos Pesqueros, Biológicos y Socioeconómicos de la captura de cangrejo rojo (*Ucides occidentalis*) en los manglares del Ecuador. Instituto Nacional de Pesca. 32 pp.
- Sparre, P; Venema S. 1997. Introducción a la evaluación de recursos pesqueros tropicales. Parte 1. Manual. FAO Documento Técnico de Pesca. N°. 306.1 Rev. 2: 420 pp.
- Spalding, M; Blasco, D; Field, C. 1997. World Mangrove Atlas. The International Society for Mangrove Ecosystems. Japón. 178 pp.
- Twilley, R; Rivera-Monroy, H; Chen, R; Botero, L. 1999. Adapting to ecological mangrove model to simulate trajectories in restoration ecology. *Marine Pollution Bulletin* 37: 404-419.
- Von Bertalanffy, L. 1934. Untersuchungen uber die Gesetzmäßigkeiten des Wachstums I. Roux. Arch. Entwicklungsmech, 131: 613-652.
- Von Bertalanffy, L. 1938. A quantitative theory of organic growth (Inquiries on growth laws. II). *Hum Biol.*, Baltimore, 10 (2): 182-213.
- Wolff, M; Koch, V; Isaac, V. 2000. A trophic flow model of the Caeté mangrove estuary (North Brazil) with considerations for the sustainable use of its resources. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 50 (1): 1-15.
- Zar, H. 1996. *Biostatistical Analysis*. Prentice Hall, New Jersey. Estados Unidos. 662 p.



Simposio Investigación Científica
Facultad de Ciencias Agronómicas
Universidad de El Salvador
17-18-19 de octubre de 2017



Por una soberanía y seguridad alimentaria sostenible





Simposio Investigación Científica
Facultad de Ciencias Agronómicas
Universidad de El Salvador
17-18-19 de octubre de 2017



Por una soberanía y seguridad alimentaria sostenible



Caracteres fenológicos, morfológicos, y agronómicos de 26 líneas mutantes de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en su séptima generación en la búsqueda de genotipos promisorios a potencial de rendimiento, El Salvador

Characters phonological, morphological and agronomical 26 mutant lines (*Phaseolus vulgaris* L.) in its seventh generation in search of promising genotypes yield potential, El Salvador.

Fernández-López, OJ

Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador, El Salvador.
Correo electrónico: josuefernandez8711@gmail.com

Artiga-Gil, DA

Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador, El Salvador.
Correo electrónico: diegoartiga@hotmail.com

Alejo-Martínez, MH

Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador, El Salvador.
Correo electrónico: alejomarvin_hm@hotmail.com

Orellana-Núñez, MA

Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador, El Salvador.
Correo electrónico: m_orellan@yahoo.com

Resumen

La investigación se desarrolló en Los Naranjos, Cojutepeque, Cuscatlán, en el periodo de noviembre 2014 a febrero 2015. Las mutaciones son un método de mejoramiento genético, se está buscando obtener mutantes de semillas por irradiación y esto es posible porque si se aplica adecuadamente cambia solamente ciertos aspectos de los caracteres genéticos de la planta. El objetivo fue evaluar los componentes fenológicos, morfológicos y agronómicos de líneas mutantes promisorias de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en su séptima generación, en la búsqueda de nuevos genotipos.

Las 26 líneas utilizadas provienen de un proceso en el que fueron sometidas a irradiación gamma para crear un cambio a nivel molecular, utilizando una sola variedad que fue 'Sangre de Toro' por lo que se derivan de un tipo particular pero hasta esta etapa se comportaron de una manera diferente.

Los factores en estudio fueron las 26 líneas mutantes en su séptima generación (M7) con su respectiva codificación (M09ST01, M09ST02, M09ST03, M09ST04, M09ST05, M09ST06, M09ST07, M09ST08, M09ST09, M09ST10, M09ST11, M09ST12, M09ST13, M09ST14, M09ST15, M09ST16, M09ST17, M09ST18, M09ST19, M09ST20, M09ST21, M09ST22, M09ST23, M09ST24, M09ST25, M09ST27 y el testigo Sangre de Toro T26). Con el propósito de estudiar y seleccionar líneas mutantes promisorias para obtener materiales relacionados a potencial de producción. Se tomaron datos cada semana, de las Variables fenológicas cuantitativas como: días a emergencia, días a prefloración, días a floración, días a fructificación, días a madurez fisiológica, y días a cosecha. Variables morfológicas cuantitativas: longitud de tallo principal, número de nudos, número de ramas, vainas por planta, longitud de vaina inmadura y a cosecha, semillas por vaina, tamaño de semilla. Variables morfológicas cualitativas: hábito de crecimiento, tipo de ramificación, color de flor, color de vaina en estado inmaduro, maduro y cosecha, perfil de la vaina, color y forma de semilla. Variables agronómicas cuantitativas: rendimiento ton/ha y Variables agronómicas cualitativas: resistencia a plagas y enfermedades. El ensayo se estableció bajo un diseño de bloques completamente al azar, cuatro bloques y 27 tratamientos en las que se tenían cuatro repeticiones del promedio de cinco plantas, esto debido a la limitancia de material genético; se realizó análisis de correspondencia simple y prueba de Diferencia Mínima Significativa (DMS) con un nivel de significancia del 5%.

Los parámetros utilizados para las variables se midieron de acuerdo al descriptor varietal de frijol (Muñoz *et al.* 1993). Donde se estudiaron las variables más representativas.

Los resultados obtenidos dentro de los caracteres fenológicos, la línea mutante T9 (M09ST09) fue la que presentó mayor precocidad en todas las variables con respecto al testigo y demás líneas, así en cuanto a los caracteres morfológicos

cuantitativos, se encontró que el T20 (M09ST20) mostró los mejores resultados, y dentro de los caracteres agronómicos las líneas mutantes T20 (M09ST20) y T15 (M09ST15) presentaron los mayores potenciales de rendimientos con 4.71 ton/ha y 3.79 ton/ha respectivamente, en comparación con las demás líneas y el testigo.

Palabras clave: Líneas Mutantes, Irradiados, Frijol, Evaluación fenológica, Genotipos de Frijol.

Abstract

The research was conducted in Los Naranjos, Cojutepeque, Cuscatlán, in the period November 2014 to February 2015. Mutations are a method of genetic improvement is seeking to obtain mutant seed irradiation and this is possible because if properly applied changes only certain aspects of the genetic characteristics of the plant. The objective was to evaluate the phenological, morphological and agronomic components promising mutant lines bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in its seventh generation in search of new genotypes.

The 26 lines used come from a process in which they were subjected to gamma irradiation to create change at the molecular level, using a single variety that was 'Sangre de Toro' so are derived from a particular type but until this stage behaved in a different way.

The factors under study were the 26 mutant lines in its seventh generation (M7) with their respective coding (M09ST01, M09ST02, M09ST03, M09ST04, M09ST05, M09ST06, M09ST07, M09ST08, M09ST09, M09ST10, M09ST11, M09ST12, M09ST13, M09ST14, M09ST15, M09ST16, M09ST17, M09ST18, M09ST19, M09ST20, M09ST21, M09ST22, M09ST23, M09ST24, M09ST25, M09ST27 and Blood witness Toro T26). In order to study and select promising mutant lines for production potential related materials. Data were taken every week, phenological quantitative variables such as emergency days, days before flowering, days to flowering, fruiting days, days to physiological maturity and days to harvest. Quantitative morphological variables: length of main stem, number of nodes, number of branches, pods per plant, pod length and harvest unripe seeds per pod, seed size. Qualitative morphological variables: growth habit, branching type, flower color, pod color immature, mature and harvest, profile pod, seed color and shape. Quantitative agronomic variables: yield ton / ha and qualitative agronomic variables: resistance to pests and diseases. The trial was conducted under a complete block design random, four blocks and 27 treatments in four repetitions of the average of five plants had, and this due to the limitancia of genetic material; simple correspondence analysis and testing Minimum Significant Difference (DMS) with a significance level of 5% was performed.

The parameters used for the variables were measured according to varietal bean descriptor (Munoz *et al.* 1993). Where the most representative variables were studied.

The results obtained within the phenological characters, the mutant line T9 (M09ST09) was the one that presented earlier age in all variables with respect to the control and other lines as well as to the quantitative morphological characters, it was found that the T20 (M09ST20) showed the best results, and within agronomic characters mutant lines T20 (M09ST20) and T15 (M09ST15) had the highest potential yield with 4.71 t / ha and 3.79 t / ha respectively, compared with other lines and witness.

Key Words: Mutants Lines Irradiated, Beans, Phenological Evaluation, Bean Genotypes.

Introducción

El frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) es un componente esencial de la canasta básica familiar y de la dieta diaria para la mayoría de población salvadoreña; por ser una fuente económica de proteínas con un promedio de 22%. En nuestro país el consumo de proteínas alcanza 52.4 g por persona por día, de las cuales se estima que 4.2 g son provenientes de frijol, por lo que suministra el 8% del total de proteínas (CENTA 2008).

Desde hace algunos años el Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal (CENTA), junto con instituciones internacionales han unido esfuerzos para buscar nuevas alternativas a través de procesos de mejoramiento, siendo su principal objetivo aumentar la productividad del cultivo de manera que permita un mejor abastecimiento para el consumo y aceptación del producto en el mercado, mediante procesos de fitomejoramiento participativo (CENTA 2012).

La utilización de radiaciones gamma por la vía de mutaciones inducidas es una técnica empleada con bastante frecuencia y ha permitido la obtención de cultivares de alta adaptación en muchas especies. Sin embargo, su utilización debe estar precedida de ensayos que permitan determinar la dosimetría adecuada. El método de mejoramiento genético mediante mutaciones inducidas se basa en el principio de exponer plantas o semillas a las radiaciones (Novak y Brunner 1992).

El mejoramiento debe ser llevado a cabo dentro de parámetros de hábito de crecimiento, madurez, adaptación local, factores específicos de resistencia a plagas y enfermedades, tamaño de semilla y las principales preferencias en cada región, donde se consume frijol (Iriarte *et al.* 2006).

La descripción morfológica, fenológica y agronómica de líneas, híbridos y variedades cultivadas benefician tanto al mejorador de plantas y productor de semillas como al agricultor y al comerciante del producto final. Una descripción precisa permite que el agricultor y el comerciante adquieran una variedad específica o que el productor de semilla genere un producto que reúna un estándar aceptable de calidad y pureza (Smith y Smith 1989).

Las variables antes mencionadas permitieron evaluar los componentes morfo agronómicos y fenológicos de líneas mutantes promisorias de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en su séptima generación, en la búsqueda de nuevos genotipos. A fin de encontrar líneas que puedan aportar para la producción y completar la demanda nacional, reduciendo en cierta medida las importaciones de este grano que puede ser aprovechado en nuestras tierras.

Materiales y Métodos

Ubicación: La investigación se realizó en el Cantón Los Naranjos, municipio de Cojutepeque, Departamento de Cuscatlán, con una altura de 880 msnm, con una precipitación promedio anual de 1,847.5 milímetros y temperatura promedio de 22.9°C.

Duración: En el periodo de noviembre de 2014 a febrero de 2015, estuvo dirigida al desarrollo de una fuente de información y resultados; utilizando 26 líneas mutantes de frijol irradiado y un testigo que fue ‘Sangre de Toro’.

Unidades Experimentales: El área total de la parcela fue de 580.0 m² (36.2 m de largo por 16 m de ancho), con una población total de 1,350 plantas. La muestra dentro de cada tratamiento fue de 20 plantas en un área de 9.0 m² y dentro de cada tratamiento se tenían cuatro repeticiones, las cuales representaron 20 repeticiones por cada tratamiento, que represento 1.35 m² de área útil en cada unidad experimental, cada repetición (bloque) es el promedio de 5 plantas. El total de plantas muestreadas por las 27 unidades experimentales fue de 540.

Se realizó la prueba de germinación a las semillas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) que se utilizó para la investigación, previamente estuvo en un proceso de conservación bajo ambiente controlado, 24 horas antes de realizar la prueba de germinación, se sacaron para evitar un shock térmico, se contaron diez semillas de cada línea mutante y se depositaron en platos desechables de durapax con papel toalla humedecida, luego se colocaron bajo condiciones de sombra y se les aplico riego según lo necesitaron. Finalizado el tiempo se verifico que la semilla estaba viable para ser utilizada en el establecimiento del ensayo.

Medición de la humedad de la semilla, de los granos de frijol cosechados y previamente secados al sol, se tomó una muestra de 30 g. que se utilizó para medir el porcentaje de humedad de estos, con la ayuda de un medidor de humedad marca GEHAKA AGRI modelo G 600.

Metodología de campo

A inicios de noviembre de 2014, 15 días antes de la siembra, se limpió el terreno y se dio un paso de arado con bueyes a una profundidad de 20 a 30 cm. En un área de 580.0 m² se establecieron unidades experimentales de 3.0 m de ancho por 3.0 m de largo, cada uno tenía un área de 9 m² dejando 1.20 m entre línea y 1 m entre unidad experimental, las calles entre cada bloque tenían 1 m, los surcos dentro de cada línea fueron a 0.60 m.

En el año 2009 docentes de la facultad de Ciencias Agronómicas iniciaron el proyecto de mutaciones en semillas de frijol, utilizando la variedad ‘Sangre de Toro’, la mutación se realizó con rayos gamma utilizando Co60 en una dosis de 175 Gray, esta práctica se realizó en Guatemala. Al principio de este proyecto se contaban con un número mayor de líneas pero en el estudio de cada fase se hicieron valoraciones llegando a las 26 líneas de frijol que se encontraban en la M7. Los materiales utilizados fueron los que se detallan en el Cuadro 1.

Cuadro 1: Material genético utilizado para la siembra, variedad sangre de toro T26 (Testigo) y 26 líneas mutantes de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.).

Código	Línea	Código	Línea	Código	Línea
M09ST01	T1	M09ST11	T11	M09ST21	T21
M09ST02	T2	M09ST12	T12	M09ST22	T22
M09ST03	T3	M09ST13	T13	M09ST23	T23
M09ST04	T4	M09ST14	T14	M09ST24	T24
M09ST05	T5	M09ST15	T15	M09ST25	T25
M09ST06	T6	M09ST16	T16	Sangre de Toro	T26
M09ST07	T7	M09ST17	T17	M09ST27	T27
M09ST08	T8	M09ST18	T18		
M09ST09	T9	M09ST19	T19		
M09ST10	T10	M09ST20	T20		

La siembra se realizó el 26 de noviembre de 2014, de forma manual, colocando 2 semillas por postura a 2 cm de profundidad, los distanciamientos fueron 30 cm entre postura y 60 cm entre surco. Durante la fase vegetativa y reproductiva del cultivo se aplicó riego manteniendo a capacidad de campo, dependiendo de las condiciones climáticas en el terreno se aumentaba o se mantenía el riego por lo que la lámina de riego se mantuvo dependiendo de los factores climáticos. La frecuencia de riego fue de un día intermedio entre riego.

Durante el ciclo del cultivo se aplicaron dos fertilizaciones con fertilizantes granulados y cuatro aplicaciones de fertilizantes foliares, la primera ocho días después de la siembra, se utilizaron 200 libras de fórmula, es decir se incorporaron 19.48 Kg de N/Ha, 19.48 Kg de P/Ha y 19.48 Kg de K/Ha; la segunda 35 días después de la siembra, se utilizaron 100 libras de Urea, es decir se incorporaron 29.87 Kg de N/Ha. En ambas se incorporó el fertilizante de forma manual a 4-5 cm del tallo de la planta. Las fertilizaciones foliares se aplicaron: la primera en la prefloración, la segunda en la floración, la tercera y la cuarta aplicación con intervalos de cuatro días entre una y otra; el producto utilizado contenía macro y micro nutrientes y la aplicación fue a una dosis de 1.0 L/Mz.

Se realizó un control químico siete días antes de la siembra utilizando Glifosato a dosis de un litro por manzana, y el control manual en dos épocas; el primero a los 20 y el segundo a los 35 días después de la siembra. El control de las plagas y enfermedades se desarrolló de forma preventiva, después de la siembra se aplicó Imidacloprid WG (Confidor 70 WG) a dosis de 0.25 Kg/Ha para prevenir o controlar gallina ciega (*Phyllophaga* spp.) y gusanos cortadores (*Agrotis ipsilon*, *Agrotis bilitora*, *Feltia experta*, *Feltia subterranea*). Durante el desarrollo del cultivo se aplicó Clorotnilo-Piretroide (Monarca 11,5 SE) a una dosis de 0.25 L/Ha, para prevenir o controlar gusanos desfoliadores (*Trichoplusia ni*, *Estigmene acrea*, *Anticarsia gemmatalis*, *Spodoptera eridania*, *Spodoptera frugiperda*, *Spodoptera ornithogalli*), mosca blanca (*Bemisia tabaci*) y tortuguillas (*Ceratomyza* spp., *Diabrotica* spp.), en intervalos de aplicación de una semana.

También se aplicó Spinosyn (Exalt SC) a una dosis de 8 ml/L para el control de trips (*Empoasca* spp.), en intervalos de 15 días según la incidencia de estos, para la prevención o control de ácaros (*Tetranychus* spp.) se aplicó Abamectina (Verlaq 1.8 EC) a dosis de 0.25 L/Ha. Para la prevención y control de enfermedades durante el desarrollo del cultivo, como mustia hilachosa (*Thanatephorus cucumeris*), mancha angular (*Phaeoisariopsis griseola*), y antracnosis (*Colletotrichum lindemuthianum*) se aplicó un fungicida orgánico Regalia Maxx 20 SC (*Reynoutria sachalinensis*) a una dosis de 2 L/Ha. en intervalos de una semana según el ataque de las enfermedades. También se aplicó Oxicloruro de cobre (Cupravit) a dosis de 0.35 Kg/Mz. para la prevención o control de mancha angular (*Phaeoisariopsis griseola*) y bacteriosis común (*Xanthomonas campestris* pv. *phaseoli*) en intervalos de aplicación de dos semanas según lo requería el cultivo.

En la toma de datos cada semana se midieron las características de acuerdo al descriptor varietal de arroz, frijol, maíz y sorgo de Muñoz *et al.* (1993). Se tomaron datos a 20 plantas por cada tratamiento, las variables fenológicas cuantitativas evaluadas fueron: días a emergencia, días a prefloración, días a floración, días a fructificación, días a madurez fisiológica, días a cosecha; Las variables morfológicas cuantitativas evaluadas fueron: número de ramas, nudos, y vainas por planta, longitud del tallo principal, longitud de vaina inmadura y a cosecha,

semillas por vaina, tamaño de la semilla; Las variables morfológicas cualitativas evaluadas fueron: hábito de crecimiento, tipo de ramificación, color de flor, color de vaina en estado inmaduro, maduro y a cosecha, perfil de la vaina, orientación del ápice de la vaina, grado de curvatura del ápice de la vaina, sutura placentar del ápice de la vaina, color y forma de la semilla; La variable agronómica cuantitativa evaluada fue: rendimiento ton/ha; la variable agronómica cualitativa evaluada fue: resistencia a plagas y enfermedades.

Metodología Estadística

Para el establecimiento del experimento se utilizó el diseño de bloques completos al azar (BCA). Constituido por 4 bloques y 27 tratamientos, debido a que el terreno presentaba una gradiente de humedad. Cada tratamiento conformaba las unidades experimentales y estaban compuestos por cinco surcos de 3.0 m de largo y 0.60 m entre surco. El área total de la parcela fue de 580.0 m² (36.2 m de largo por 16 m de ancho), con una población total de 1350 plantas y cada unidad experimental con 50 plantas en un área de 9.0 m² (3 m de largo y 3 m de ancho).

La muestra dentro de unidad experimental fue de 5 plantas, las cuales representaron una repetición por cada tratamiento, que represento 0.90 m² de área útil en cada unidad experimental.

Para la caracterización cualitativa se utilizó el Análisis multivariado específicamente el análisis de correspondencia simple, el cual nos mide las cercanías de las observaciones con los atributos o variables medidas en un espacio de dos dimensiones, analizándose estos atributos por la cercanía existente entre ellos. Mientras que para el análisis cuantitativo se utilizara la prueba de Diferencia Mínima Significativa (DMS) con un nivel de significancia del 5%. Se procesaron los datos en el Software Estadístico InfoStat.

En la figura 1 se observa que el Componente 1 (CP1- eje X) explica el 51.4% de la variación y el componente 2 (CP2- Eje Y) explica el 20.6%. Es decir que en el eje X, las variables días a prefloración, días a floración, días a madurez fisiológica y días a cosecha, están siendo mejor explicadas por las líneas mutantes T9, T23, T24 y T25; las cuales fueron más tempranas, no así las líneas mutantes T13, T6 y T18; que fueron más tardías en mostrar las variables antes mencionadas. Mientras que en el eje Y la variable que mejor explica es días a fructificación con las líneas mutantes T2 y T5. Las variables que mejor explican a la fenología de cultivo; días a prefloración, días a fructificación, días a madurez fisiológica y días a cosecha, y tal como se observa en el cuadro de autovectores (Cuadro 2); En el análisis exploratorio utilizando componentes principales se determina que la línea mutante más precoz fue el T9 y la línea mutante más tardía fue la T18.

En la figura 2 se puede observar con relación a la variable días a cosecha, existe diferencia significativa a un nivel de significancia del 0.05% entre el testigo sangre de toro (T26) y las líneas mutantes (Cuadro 3 y 4).

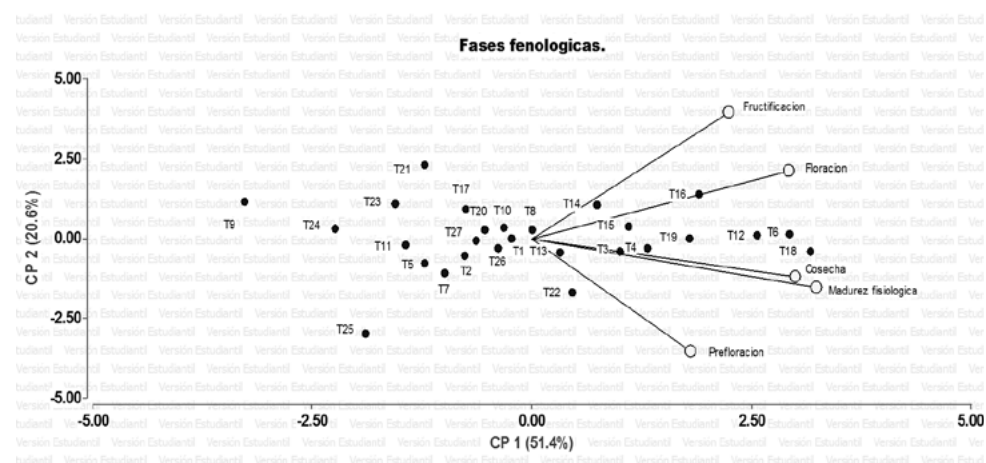


Figura 1. Análisis exploratorio entre las fases fenológicas del testigo sangre de toro T26 y 26 líneas mutantes de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), Los Naranjos, Cojutepeque, UES-FFCCAA. Tesis 2015.

Cuadro 2. Autovectores que conforman los componentes 1 y 2, de componentes principales de las etapas fenológicas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) Cantón Los Naranjos. UES-FF. CC.AA. Tesis 2015.

Autovectores		
Variables	e1	e2
Prefloración	0,30	-0,59
Floración	0,49	0,35
Fructificación	0,37	0,65
Madurez fisiológica	0,54	-0,26
Cosecha	0,50	-0,20
Correlacion cofenetica=0.879		

Cuadro 3. Análisis de varianza para la variable cosecha del testigo sangre de toro T26 y 26 líneas mutantes de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). Cantón Los Naranjos, Cojutepeque, Cuscatlán, UES-FF.CC.AA. tesis 2015.

F.V	S.C	gl	C.M	F	p-valor
Modelo.	441.10	29	15.21	230.45	<0.0001
Tratamientos	389.00	26	14.96	226.68	<0.0001
Bloques	52.10	3	17.37	263.13	<0.0001
Error	5.15	78	0.07		
Total	446.25	107			

Cuadro 4. Prueba estadística de la de la variable cosecha del testigo sangre de toro T26 y 26 líneas mutantes de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). Cantón Los Naranjos, Cojutepeque, Cuscatlán, UES-FF.CC.AA. tesis 2015.

Trat.	Media	n	E.E.	Clasificación
T18	84.75	4	0.13	A
T19	84.25	4	0.13	B
T12	84.00	4	0.13	B
T6	84.00	4	0.13	B
T16	83.00	4	0.13	C
T22	83.00	4	0.13	C
T4	83.00	4	0.13	C
T26	83.00	4	0.13	C
T3	82.00	4	0.13	D
T20	82.00	4	0.13	D
T14	82.00	4	0.13	D
T15	82.00	4	0.13	D
T13	81.75	4	0.13	D
T8	81.25	4	0.13	E
T7	81.00	4	0.13	E F
T10	81.00	4	0.13	E F
T11	81.00	4	0.13	E F
T25	81.00	4	0.13	E F
T17	81.00	4	0.13	E F
T1	80.75	4	0.13	F
T2	80.25	4	0.13	G
T27	80.00	4	0.13	G
T5	80.00	4	0.13	G
T23	79.00	4	0.13	H
T9	78.00	4	0.13	I
T21	78.00	4	0.13	I
T24	77.25	4	0.13	J

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Existiendo una variación entre las medias de los tratamientos de la manera siguiente: la línea mutante más precoz fue la T24 con 77.25 días después de la siembra, la línea mutante más tardía la T18 con 84.75 días después de la siembra y el testigo sangre de toro T26 con 83 días después de la siembra. Con respecto a las demás líneas mutantes se expresaron entre un rango de 78 y 84.25 días después de la siembra.

El IICA (2009), expresa que en condiciones óptimas las variedades “Vaina blanca” y “Ferromas” se cosechan a los 80 días después de la siembra. Araya R, Hernandez JC (2009) reportan que la variedad “Diquis” evaluada mediante ensayos reporto de 76 a 82 días a cosecha después de la siembra

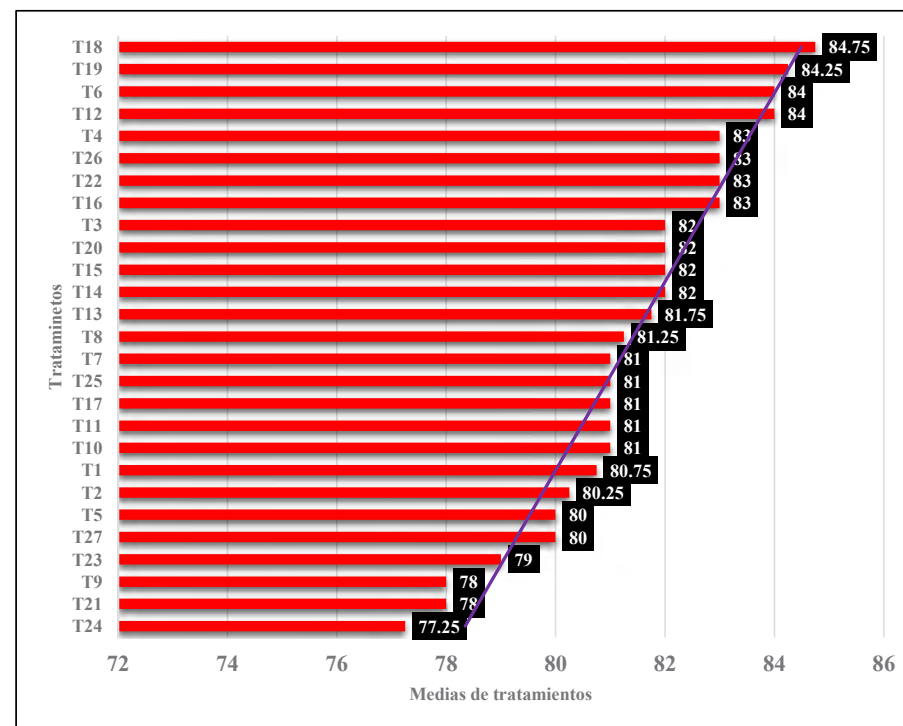


Figura 2. Días a cosecha del testigo sangre de toro (T26) y 26 líneas mutantes de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), Los Naranjos, Cojutepeque, UES-FFCCAA. Tesis 2015.

Morfológicos cuantitativos en frijol (*Phaseolus vulgaris* L.)

Número de vainas por plantas

En la figura 3, se puede observar con relación a la variable número de vainas por planta, existe diferencia significativa a un nivel de significancia del 0.05% entre el testigo (T26) y las líneas mutantes (Cuadro 5 y 6), existiendo una variación entre las medias de los tratamientos de la manera siguiente; la línea mutante T6 presentó menor promedio con 21.35 vainas por planta, la línea mutante T20 con mayor promedio de 45.9 vainas y el testigo sangre de toro T26 presentó un promedio de 24.95 vainas. Con respecto a las demás líneas mutantes se expresaron entre un rango promedio 22.75 y 38.95 vainas

De acuerdo a datos recopilados por Amaya AE y Gómez VE (2011), en evaluación de variedades de frijol en zonas bajas en los departamentos de La Unión, Usulután y San Miguel; obtuvieron promedios de vainas por planta de la siguiente manera, “Capitán” 10.7, “Rojo de Seda” 5.9, “Segoviano” 9.8, “Centa Cuscatleco” 13.8, “Dor 582” 8.1, “Centa Costeño” 10.8, “Rojo Salvadoreño” 12.1, “Centa 2000” y “Centa Pipil” con 13 vainas por planta. Y determinaron que las variedades “Centa cuscatleco”, “Centa pipil”, “Rojo Salvadoreño”, “Centa Costeño” y “Capitán”, poseen el mayor número de vainas por planta y son estadísticamente iguales; le siguen las variedades “Centa 2000” y “Segoviano”, que son estadísticamente iguales y las variedades que poseen el menor número de vainas por planta se encuentran la “Dor 582” y el “Rojo de seda”, que son estadísticamente iguales. Estos reflejan un número menor de acuerdo a los materiales en estudio es quizá sea influenciado por la altura en la cual fueron cultivados las variedades.

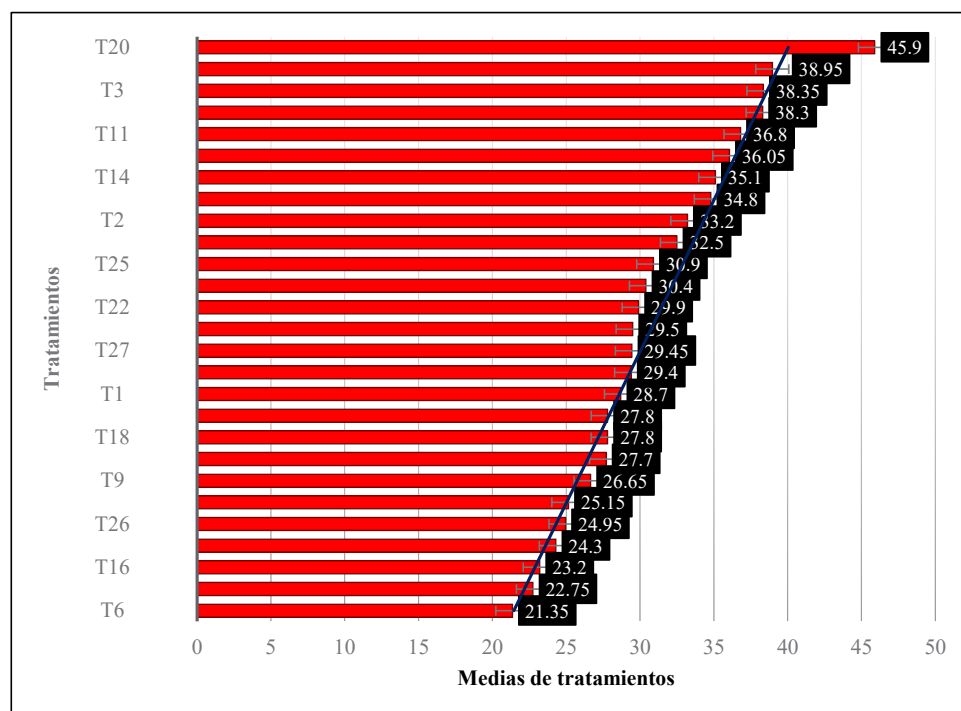


Figura 3. Número de vainas por planta del testigo sangre de toro (T26) y 26 líneas mutantes de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), Los Naranjos, Cojutepeque, UES-FFCCAA. Tesis 2015.

Cuadro 5. Análisis de varianza para la variable número de vainas por planta del testigo sangre de toro T26 y 26 líneas mutantes de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). Cantón Los Naranjos, Cojutepeque, Cuscatlán, UES-FF.CC.AA. tesis 2015.

F.V	S.C	gl	C.M	F	p-valor
Modelo.	3637.43	29	125.43	8.09	<0.0001
Bloques	76.51	3	25.50	1.64	0.1860
Tratamientos	3560.92	26	136.96	8.83	<0.0001
Error	1209.92	78	15.51		
Total	4847.35	107			

Cuadro 6. Prueba estadística de la de la variable número de vainas por del testigo sangre de toro T26 y 26 líneas mutantes de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). Cantón Los Naranjos, Cojutepeque, Cuscatlán, UES-FF.CC.AA. tesis 2015.

Trat	Media	n	E.E	Clasificación
T20	17.05	4	1.97	A
T15	16.65	4	1.97	A B
T3	16.60	4	1.97	A B C
T17	16.40	4	1.97	A B C
T11	16.00	4	1.97	A B C D
T19	16.00	4	1.97	A B C D E
T14	15.70	4	1.97	A B C D E F
T23	15.70	4	1.97	A B C D E F G
T2	15.70	4	1.97	A C D E F G H
T7	15.50	4	1.97	A D E F G H
T25	15.50	4	1.97	E F G H I
T8	15.40	4	1.97	F G H I J
T22	15.30	4	1.97	F G H I J
T4	15.25	4	1.97	G H I J K
T27	15.25	4	1.97	G H I J K
T12	15.20	4	1.97	G H I J K
T1	15.15	4	1.97	H I J K L
T18	15.15	4	1.97	H I J K L M
T21	15.05	4	1.97	H I J K L M
T5	14.80	4	1.97	H I J K L M
T9	14.65	4	1.97	I J K L M N
T24	14.55	4	1.97	J K L M N
T26	14.45	4	1.97	J K L M N
T10	14.20	4	1.97	K L M N
T16	14.15	4	1.97	L M N
T13	13.90	4	1.97	M N
T6	13.65	4	1.97	N

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Caracteres morfológicos cualitativos en frijol (*Phaseolus vulgaris* L.)

Forma predominante de la semilla

Como se representa en la figura 4, para la variable en estudio se obtuvieron los siguientes resultados, forma ovoide un 6%, elíptica el 2%, pequeña casi cuadrada el 18%, alargada ovoide el 14%, alargada casi cuadrada el 27%, y arriñonada recta en el lado del hilo el 34%. Teniendo de esta manera la forma arriñonada y alargada como las más similares dentro de la población de plantas en estudio con los mayores porcentajes.

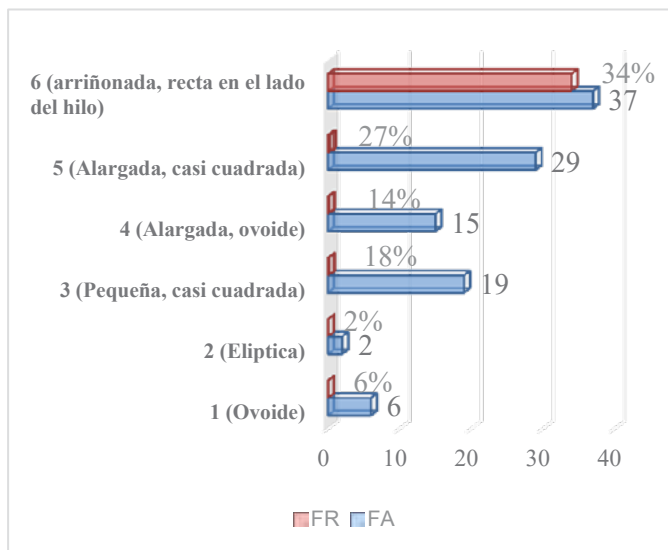


Figura 4. Forma predominante de la semilla del testigo sangre de toro T26 y 26 líneas mutantes de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), Los Naranjos, Cojutepeque, UES-FFCCAA. Tesis 2015.

El CENTA (2011), da a conocer una nueva variedad de frijol rojo con alto potencial de rendimiento el “Ferromas” y afirma que dentro de las características de la semilla posee forma ovoide. De igual forma el MAG *et al.* (2015), da a conocer la variedad “Centa ssc” con forma de semillas ovoide. Según Clará (2015), en condiciones óptimas las variedades “Vaina blanca” y “Rojo de seda” poseen forma arriñonada curva en el lado opuesto al hilo, y las variedades “Chaparrastique” y “Ferromas” forma arriñonada recta en el lado del hilo, asimismo afirma que este carácter puede cambiar en condiciones de estrés hídrico.

Para Vallejos y Martínez (2005), la forma de semilla es un carácter de gran importancia para los consumidores de frijol, ya que prefieren que el tamaño sea de pequeño a mediano.

Caracteres agronómicos cuantitativos en frijol (*Phaseolus vulgaris* L.).

Las características agronómicas son muy importantes para medir la potencialidad del frijol como cultivo.

Rendimiento en ton/ha

En cuanto a la variable se muestran en la figura 5, que existe diferencia significativa a un nivel de significancia del 0.05% entre el testigo sangre de toro (T26) y las líneas mutantes (Cuadro 7 y 8), existiendo una variación entre las medias de los tratamientos de la manera siguiente; la línea mutante T16 presento menor promedio potencial de 2.85 ton/ha, la línea mutante T20 con mayor promedio potencial de 6.74 ton/ha, el testigo sangre de toro T26 con un promedio potencial de 3.14 ton/ha y las cuatro líneas mutantes que siguen en mejor potencial de rendimiento son; T15 con 5.43 ton/ha, T17 con 5.43 ton/ha y T3 con 5.15 ton/ha,

Márquez citado por Oporta y Rivas (2006), menciona que el rendimiento del frijol está en función de varias características anatómicas y morfológicas que tienen que ver con el número de vainas por planta, número de semillas por vaina y el peso de la semillas, tal y como se ha obtenido en la investigación los mejores resultados son representados por el T20 y T15 y de la misma forma son lo que presentan los mayores resultados en cuanto a la variable número de vainas por planta.

El MAG y CENTA (2008), reportan que las variedades “Centa 2000”, “Centa San Andrés” y “Centa Pipil” presentan un rendimiento de 35 qq/mz (2.5 ton/ha), notándose que es un resultado por debajo de algunos tratamientos utilizados en esta investigación, esto podría ser efecto de la mutación.

En el estudio realizado por Granados (1966), en frijol irradiado en segunda generación, indica que los rendimientos que se obtienen en los genotipos irradiados, son mayores con respecto a sus testigos. Sandoval (1987), determino que los mejores resultados los presentan las semillas irradiadas con respecto a las variedades originales y que los resultados de rendimiento se ven influidos por la competencia inter e intra específica. Las afirmaciones de los estudios anteriores son similares a los resultados obtenidos en esta investigación ya que los mayores rendimientos fueron presentados por los tratamientos irradiados a diferencia del testigo que está representado por el T26.

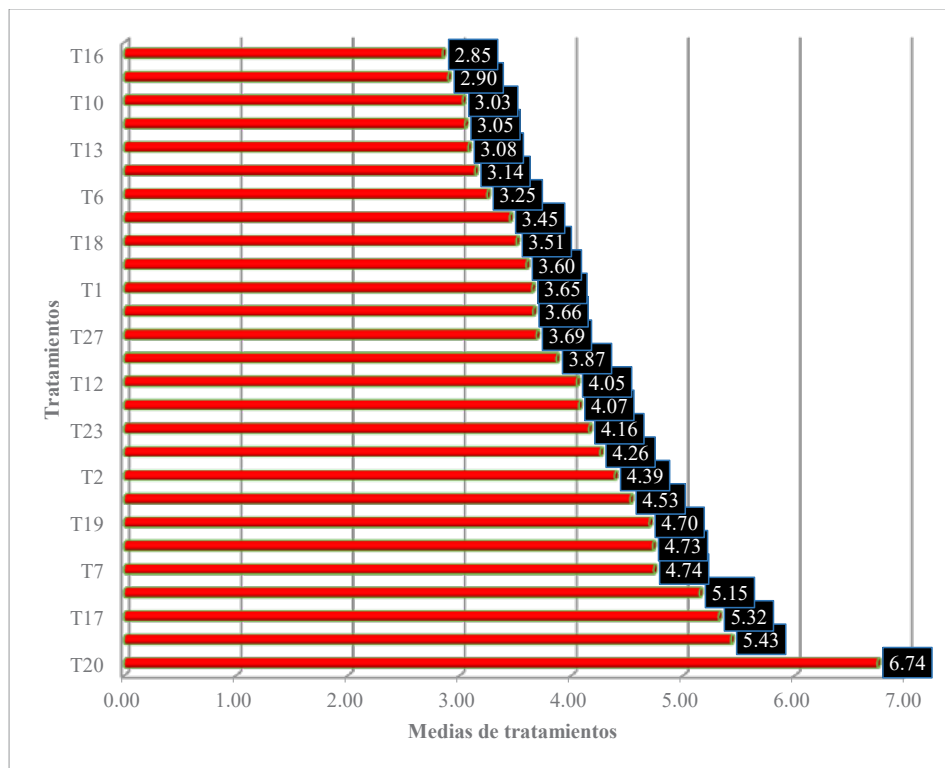


Figura 5. Rendimiento potencial ton/ha del testigo sangre de toro (T26) y 26 líneas mutantes de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), Los Naranjos, Cojutepeque, UES-FFCCAA. Tesis 2015.

Cuadro 7. Análisis de varianza para la variable toneladas/hectárea del testigo sangre de toro T26 y 26 líneas mutantes de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). Cantón Los Naranjos, Cojutepeque, Cuscatlán, UES-FFCCAA. tesis 2015.

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	91.82	29	3.17	8.18	<0.0001
Bloques	2.73	3	0.91	2.35	0.0789
Tratamientos	89.09	26	3.43	8.85	<0.0001
Error	30.21	78	0.39		
Total	122.03	107			

Cuadro 8. Prueba estadística de la de la variable toneladas/hectárea del testigo sangre de toro T26 y 26 líneas mutantes de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). Cantón Los Naranjos, Cojutepeque, Cuscatlán, UES-FFCCAA. tesis 2015.

Trat	Media	n	E.E	Clasificación
T20	6.74	4	0.31	A
T15	5.43	4	0.31	B
T17	5.32	4	0.31	B C
T3	5.15	4	0.31	B C D
T7	4.74	4	0.31	B C D E
T11	4.73	4	0.31	B C D E F
T19	4.70	4	0.31	B C D E F
T14	4.53	4	0.31	C D E F
T2	4.39	4	0.31	D E F G
T22	4.26	4	0.31	E F G H
T23	4.16	4	0.31	E F G H I
T25	4.07	4	0.31	E F G H I
T12	4.05	4	0.31	E F G H I J
T8	3.87	4	0.31	F G H I J
T27	3.69	4	0.31	G H I J K
T4	3.66	4	0.31	G H I J K L
T1	3.65	4	0.31	H I J K L
T5	3.60	4	0.31	H I J K L
T18	3.51	4	0.31	I J K L
T9	3.45	4	0.31	I J K L
T6	3.25	4	0.31	J K L
T26	3.14	4	0.31	K L
T13	3.08	4	0.31	K L
T24	3.05	4	0.31	K L
T10	3.03	4	0.31	K L
T21	2.90	4	0.31	L
T16	2.85	4	0.31	L

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Conclusiones

La irradiación de semillas de frijol sangre de toro, utilizando Co60 en dosis de 170 Gray. Puede inducir a mutaciones que se mantienen hasta la M7.

La línea mutante T9 fue la que presentó mayor precocidad en la mayoría de las etapas fenológicas con respecto al testigo sangre de toro T26.

Las líneas mutantes presentaron diferencias notables en algunas variables morfológicas cualitativas estudiadas, con respecto al testigo sangre de toro T26.

La línea mutante T20 presentó el mejor resultado en las variables número de vainas por planta y potencial de rendimiento en comparación con las demás líneas y el testigo sangre de toro T26.

El uso de Co60 en dosis de 170 Gray para inducción a mutaciones con rayos gamma, durante la evaluación hasta llegar a la M7, ha dado como resultado líneas mutantes con excelentes características en cuanto a las variables en estudio.

Recomendaciones

Realizar evaluaciones en diferentes época de siembra para determinar e identificar que líneas mutantes, tienen a generar resultados diferentes según las variables en estudio.

Realizar evaluaciones en diferentes zonas del país con las líneas mutantes T20, T15, T17 y T3, las cuales presentaron los mejores resultados con respecto a la variable potencial de rendimiento.

Realizar análisis bromatológico del contenido nutricional de las todas las líneas mutantes.

Realizar investigaciones con las 26 líneas mutantes para determinar tolerancia a herbicidas, resistencia a plagas y enfermedades, altitud de siembra, distanciamientos de siembra, asocio con otros cultivos, tolerancia a la salinidad.

Realizar una caracterización molecular de las 26 líneas mutantes de frijol en la M7 obtenidas por mutación utilizando rayos gamma.

Bibliografía

Araya, R; Hernández, JC. 2009. Programa colaborativo de fitomejoramiento participativo en Mesoamérica: DIQUIS (en línea). Ed. PITTA frijol. Costa Rica, UCR. 6 p. Consultado 1 feb. 2016. Disponible en <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/pitta-frijol-plegable-Diquis.pdf>

Amaya, AE; Gómez, VE. 2011. Evaluación de variedades de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), en zonas bajas en los departamentos de La Unión, San Miguel y Usulután (en línea). Revista de Investigación. 2(1):20-23. Consultado 22 ene. 2016. Disponible en http://www.univo.edu.sv:8081/revista/021457/021457_Par4.pdf

Clará, A. 2015. Caracteres morfológicos cualitativos y cuantitativos en frijol. (Correo electrónico). La Libertad, SV, CENTA.

CENTA (Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal, SV. 2011. CENTA FERROMAS: Variedad de frijol grano rojo con mejor valor nutricional, alto potencial de rendimiento y tolerante a las principales plagas y enfermedades (en línea). La Libertad, SV, CENTA. 2 p. Consultado 1 abr. 2016. Disponible en <http://www.centa.gob.sv/docs/guias/granos%20basicos/Boletin%20CENTA%20Ferromas.pdf>

CENTA (Centro Nacional de Tecnología Agropecuario y Forestal Enríquez Álvarez Córdova, SV). 2008. Guía Técnica para el Manejo de Variedades de Frijol: Programa de granos básicos (en línea). La Libertad, SV. Consultado 25 mar. 2014. Disponible en <http://www.centa.gob.sv/docs/guias/granos%20basicos/Guia%20Tecnica%20Frijol.pdf>

CENTA (Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal, SV). 2012. Variedades de frijol rojo desarrolladas a través de fitomejoramiento participativo en El Salvador. La Libertad, SV. 2p.

Granados Vásquez, R. 1966. Efecto de la irradiación gamma en frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.). Tesis, Ing. Agr. San Salvador, SV. Universidad de El Salvador. p 1.

Hernández, CJ; Sánchez, HH; Azpiroz, HS; Acosta, JA; Bernal, I. 2002. Caracterización de una población de líneas endogámicas de frijol común por su calidad de cocción y algunos componentes nutrimentales. Agrociencia. 36(4):451-459.

IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, CR). 2009. Guía técnica para el cultivo de frijol: Innovaciones para mejorar la competitividad de la cadena agroindustrial de granos y semillas de frijol de los socios de ASOPROL (en línea). Boaco, NI, ASOPROL. p. 9. Consultado 1 ene. 2016. Disponible en <http://repiica.iica.int/DOCS/B2170E/B2170E.PDF>

Iriarte, G; Blair, MW; Hoyos, A; Beebe, S. 2006. Evaluación agronómica de una retrocruza avanzada entre una accesión silvestre colombiana y la variedad cultivada de frijol común, ICA Cerinza. Fitotecnia Colombiana. 6(1):24-32.

MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería, SV); CENTA (Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal, SV); ZAMORANO (Escuela Agrícola Panamericana, HN); PIF (Programa de Investigaciones en frijol, HN). 2015. CENTA SSC: Variedad de frijol color rojo claro (en línea). Eds. MA Mejía; BN Menjivar. La Libertad, SV, CENTA. 8 p. Consultado 14 abr. 2016. Disponible en <http://www.centa.gob.sv/docs/guias/granos%20basicos/BOLETIN%20FRIJOL%20CENTA%20SSC.pdf>

MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería, SV); CENTA (Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal, SV). 2008. Guía técnica para el manejo de variedades de frijol: Programa de granos básico (en línea). La Libertad, SV, CENTA. 24 p. Consultado 13 feb. 2016. Disponible en <http://www.centa.gob.sv/docs/guias/granos%20basicos/Guia%20Tecnica%20Frijol.pdf>

Muñoz, G; Giraldo, G; Fernández, J. 1993. Descriptores varietales: Arroz, frijol, maíz, sorgo (en línea). Cali, CO, CIAT. P. 51-86. Consultado 1 nov. 2015. Disponible en http://ciat-library.ciat.cgiar.org/articulos_ciat/descriptores_varietales.pdf

Novak, FJ; Brunner, H. 1992. Fitotecnia: Tecnología de mutación inducida para el mejoramiento de los cultivos (en línea). Boletín del OIEA 4:25-33. Consultado 3 nov. 2014. Disponible en https://www.iaea.org/sites/default/files/34405682533_es.pdf

- Oporta Pichardo, ES; Rivas Cáceres, AM. 2006. Efecto de la densidad poblacional y la época e siembra en el rendimiento y la calidad de la semilla de una población de caupi rojo (*Vigna unguiculata* L.) en la finca El Plantel (en línea). Tesis Ing. Agr. Managua, NI, Universidad Nacional Agraria. 31 p. Consultado 11 abr. 2016. Disponible en <http://repositorio.una.edu.ni/2006/1/tnf01o61.pdf>
- Oporta Pichardo, ES; Rivas Cáceres, AM. 2006. Efecto de la densidad poblacional y la época e siembra en el rendimiento y la calidad de la semilla de una población de caupi rojo (*Vigna unguiculata* L.) en la finca El Plantel (en línea). Tesis Ing. Agr. Managua, NI, Universidad Nacional Agraria. 31 p. Consultado 11 abr. 2016. Disponible en <http://repositorio.una.edu.ni/2006/1/tnf01o61.pdf>
- Sandoval Recinos, HN. 1987. Selección de líneas con alto potencial de rendimiento en dos variedades de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) mutagenizadas con rayos gamma Co60 (en línea). Tesis, Lic. Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos. Consultado 15 feb. 2016. Disponible en http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01_1021.pdf
- Smith, I; Smith, O. 1989. La descripción y evaluación de la distancia entre las líneas endogámicas de frijol: en el uso de rasgos morfológicos como descriptores. *Maydica*. 34(2): 141-15
- Vallejos Treminio, B; Martínez Maltez, LH. 2005. Caracterización y evaluación de 7 genotipos de frijol común grano rojo (*Phaseolus vulgaris* L.) en la Estación Experimental La Compañía, Carazo. 2004-2005 (en línea). Tesis Ing. Agr. Managua, NI, Universidad Nacional Agraria. 51 p. Consultado 21 ene. 2016. Disponible en <http://cenida.una.edu.ni/Tesis/tnf30v182c.pdf>



Simposio Investigación Científica
Facultad de Ciencias Agronómicas
Universidad de El Salvador
17-18-19 de octubre de 2017



Por una soberanía y seguridad alimentaria sostenible



Normas de publicación en revista Agrociencia

Estructura del Artículo Científico

Para la publicación de los resultados de investigación, es necesario tener una estructura eficaz y acorde con las necesidades concretas. Existen varios tipos de estructuras dependiendo de la revista científica y su especialización, aquí se tratará sobre el artículo original o artículo científico.

A pesar de que cada revista tiene sus propias normas de publicación, la estructura del artículo generalmente es común a todas ellas, variando únicamente la forma de presentación, extensión de las partes o algunas pequeñas características relacionadas con el formato. Las normas de publicación incluyen tipo de letra, interlineado, idiomas del título y del resumen, situación de las palabras clave, formato de las citas bibliográficas. En este sentido, los apartados fundamentales que debe presentar un artículo científico son los siguientes:

Nombre de la Investigación

Este es un componente muy importante del artículo, debido a que es probable que se publique como recurso bibliográfico, en bancos de datos, en la página de Internet y en la literatura citada de otros artículos. Quién encuentre el título por uno de estos medios decidirán, basándose exclusivamente en su contenido, si deben o no obtener una copia del artículo, debido que describe el contenido del artículo (naturaleza del estudio, sujeto u objeto experimental y enfoque técnico) en forma específica, clara, exacta, breve, honesta y concisa, de tal forma que el lector identifique el tema fácilmente.

A pesar que no hay una regla única sobre la longitud mínima, máxima u óptima del título en cuanto al número de palabras, la longitud promedio varía en diferentes revistas examinadas recientemente, considerando como promedio 14 palabras (9 mínimo a 20 como máximo). El título no debe contener abreviaturas, fórmulas químicas o nombres comerciales. Usar letra mayúscula únicamente en la primera letra del título (a menos que se trate de nombres propios). Si se incluye un nombre científico, es imperativo que el lector sepa de qué tipo de organismo se trata.

Autores

Un aspecto muy importante es el nombre y apellidos de los investigadores, generalmente se tienen dos apellidos y nombres, por lo tanto deberán colocarse los dos apellidos unidos por un guión. Cuando hay más de un autor estos deben estar separados por comas y los nombres de los autores colocando únicamente

las iniciales. El o los docente directores de tesis, deberá estar al final del total de autores del artículo científico. Después del nombre y apellido de cada autor hay que colocar un número arábigo como superíndice, para indicar la dirección de la institución y se indicará con el número uno (1), el autor al cual se le debe dirigir la correspondencia. A los docentes y otros profesionales directores de tesis deberá colocar el número dos (2), el cargo y la dirección de la Unidad académica o de trabajo a la cual pertenecen, la Universidad o Institución laboral y el país. Las direcciones deberán ir en nota separada al pie de página.

Resumen y palabras claves

La mayoría de las revistas científicas, exigen un resumen en varios idiomas sobre el contenido del artículo. La importancia del “Resumen o Abstract” se refleja en la existencia de bases de datos en bibliotecas u otros Centros de Información, donde únicamente aparece el título y el resumen del artículo. Con la proliferación de bases de datos digitales, esta característica se ha convertido en universal.

El resumen, debe ser lo suficientemente sucinto e informativo para permitir al lector identificar el contenido e interés del trabajo y poder decidir sobre su lectura. El resumen debe estar escrito en el pasado y hacer referencia al lugar y fecha de ejecución; además, debe contener el procedimiento metodológico del trabajo, sus principales resultados y conclusiones. Debe dejarse bien claro el hallazgo principal del trabajo y se deben presentar datos numéricos de los resultados sin incluir subtítulos, cuadros, figuras, abreviaciones, referencias bibliográficas y no deben separarse los párrafos. Además, indicar la probabilidad de la prueba estadística entre paréntesis por ejemplo ($p \leq 0.01$) y cuando sea pertinente también el valor calculado ($r = 0.9$; $X^2 = 2$). Evitar expresiones: “En este artículo se presentan o discuten...”

Generalmente los aspectos relacionados con el resumen suelen estar limitados por las normas editoriales. Normalmente no debe superar las 250 palabras y tampoco ser inferior a 150 e incluir una traducción al idioma inglés.

Al final del resumen deben incluirse una serie de términos denominados “Palabras clave” (Key words) por las que el artículo será incluido en los Thesaurus y bases de datos. La búsqueda en los bancos de bibliografía suele realizarse precisamente por estas palabras clave, siendo importante elegirlas adecuadamente. Habitualmente se incluyen los taxones estudiados (de mayor a menor rango), el campo de estudio y las regiones geográficas estudiadas (de menor a mayor rango). El número indicado es de 3 a 8 palabras clave o frases cortas (lexemas) y la primera letra de la primera palabra clave en mayúscula. Ordenarlas por orden de importancia.

1. Introducción

Describe el interés que tiene el tema en el contexto científico del momento, así como una breve reseña del estado actual de los conocimientos en este campo, incluyendo las referencias bibliográficas más importantes. Además, se refiere a los trabajos

previos que se han hecho sobre el tema. No necesariamente debe ser muy extensa y debe responder a la pregunta de “porqué se ha hecho este trabajo”. La Introducción es una revisión bibliográfica previa, en la cual todas las afirmaciones van sustentadas por citas bibliográficas, pero no debe confundirse con la introducción de la tesis u otros documentos. Hay que tener presente que el último párrafo se resume el objetivo del estudio. La introducción hace las funciones de revisión de literatura, la cual debe incorporarse al texto según las normas técnicas vigentes del IICA.

2. Materiales y Métodos

En esta sección se responde a la pregunta de “cómo se ha hecho el estudio” y es la escritura del diseño de la investigación la cual debe incluir la ubicación de la investigación en espacio y tiempo, condiciones climáticas y de suelo, las unidades en estudio, la toma de datos, estudios económicos, el análisis estadístico (variables en estudio, modelos y pruebas estadísticas). Los métodos establecidos y bien conocidos se indican mediante citas bibliográficas. Se detalla el uso de productos químicos (nombres genéricos) y datos de dosis. Para los equipos de presión, se debe señalar tipo, marca y modelo.

3. Resultados y Discusión

Es la presentación ordenada de los hallazgos que es la verdadera contribución de la investigación. Se pueden presentar en el textos, cuadros, figuras o ilustraciones, para ello hay que utilizar el medio más claro, adecuado y económico. Se debe tener el cuidado de citar dentro del texto las figuras, cuadros o ilustraciones. La secuencia de redacción no tiene por que ser necesariamente cronológica, sino la que permita una exposición más coherente y clara de los resultados obtenidos.

Deben expresarse los resultados de los experimentos descritos en Materiales y Métodos sin repetir ambos elementos y ser vistos y entendidos de forma rápida y clara. El primer párrafo debe ser utilizado para resumir en una frase concisa, clara y directa, el hallazgo principal del estudio. Esta sección debe ser escrita utilizando los verbos en pasado. Evitar el uso de voz pasiva (“el ganado lechero se ha considerado...”), mejor usar: “el ganado lechero es considerado...”. No usar expresiones como: “se efectuó una fertilización nitrogenada...”; debemos ser específicos, cambiar el sustantivo y hacerlo verbo, así: “se fertilizo con nitrógeno...”. Las unidades de medida deben estar claras según el Sistema Internacional de Unidades y las abreviaciones totalmente explicativas, según las normas vigentes del IICA.

La discusión de los resultados es el examen de los resultados, su significado y limitaciones, enfatiza los aspectos nuevos e importantes de la investigación. Determina la coherencia o contradicción de los datos encontrados. Esta sección es el corazón del artículo y la sección más compleja de elaborar y organizar. Algunas sugerencias que pueden ayudar son: comenzar la discusión con la respuesta a la pregunta de la Introducción, seguida inmediatamente con las pruebas expuestas

en los resultados que la corroboran. Comentar claramente, en lugar de ocultarlos, los resultados anómalos, dándoles una explicación lo más coherente posible. Se contrastarán con los resultados obtenidos en otras publicaciones sobre el tema.

4. Conclusiones

Las conclusiones deben recapitular en forma lógica los resultados obtenidos. Deben ser independientes, concretas y no redundantes. Deben estar basadas en los hallazgos del trabajo, no ser especulativas, ni provenir de la literatura. Deben de estar en concordancia con los objetivos que se plantearon en el proyecto de investigación. No deben mencionarse cuadros o figuras. No deben confundirse con recomendaciones. No usar números o viñetas.

5. Recomendaciones

Indicar la aplicabilidad de sus resultados y lo que se debe modificar. No usar números o viñetas.

6. Bibliografía

En el artículo científico únicamente se admite relacionar bajo este epígrafe, aquellas referencias bibliográficas que han sido directamente citadas en el texto. Las fuentes citadas deben hacerse de acuerdo a las normas vigentes del IICA. Si hay citas de internet, deberán ser de revistas o textos reconocidos por la comunidad científica internacional y escribirlas según normas técnicas vigentes del IICA. No usar números o viñetas en las bibliografías, únicamente usar letra negrita en autores y año.

7. Agradecimientos (opcional).

Es aplicable a instituciones que apoyaron la investigación.

8. Redacción de cuadros, figuras y texto

Cuadros:

Deben tener un título breve y claro de manera que indique sin dificultad que es lo que se informa en él, debe ser lo más corto y simple posible y deberá estar en la parte superior del cuadro. Para los cuadros que llevan notas al pie del cuadro se hacen con letras más pequeñas que las del texto.

Las siglas y abreviaturas deben escribirse según las normas técnicas vigentes del IICA, de lo contrario deberán ser acompañadas de una nota explicativa al pie del mismo. Los cuadros no deben tener un tamaño mayor de tres cuartos de la página y demasiada información estadística que se tornan incomprensibles y confusos. Se sugiere usar dos números decimales.

Figuras:

Se denominan figuras a los gráficos, diagramas, mapas, fotografías, dibujos manuales e impresiones fotográficas. Los títulos deben de ser concisos y explicativos y se colocan debajo de la figura. Los mapas y dibujos deberán llevar una escala en el Sistema Internacional de Unidades. Las fotografías deben de ser de buena calidad, buena resolución y excelente contraste. La figura deberá ser de alta trascendencia para el artículo, y se identificará con números arábigos según el orden de aparición en el texto.

Texto:

El texto deberá escribirse en una columna, con letra arial normal número 11 a espacio sencillo. El margen izquierdo deberá ser de 3.0 cm. y el derecho, superior e inferior de 2.5 cm. Las páginas se numeran en el lado inferior en el extremo derecho. Se recomienda no unir el número con la abreviación, excepto cuando se trate de porcentajes o grados centígrados. Los números del cero al nueve se escriben con letras, sino son unidades de medida.



AGROCIENCIA

Cultivando el conocimiento para un mejor futuro

Contacto: revista. agrociencia@ues.edu.sv
septiembre - noviembre 2017