





M.Sc. Roger Armando Arias Alvarado
Rector

Dr. Raúl Ernesto Azcúnaga López
Vicerrector Académico

Ing. Agr. M.Sc. Juan Rosa Quintanilla Quintanilla
Vicerrector Administrativo

Ing. Francisco Antonio Alarcón Sandoval
Secretario General

Lic. Iván Hernández
Presidente 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)

Dr. Francisco Lara Ascencio
Decano Facultad de Ciencias Agronómicas

Ing. Agr. Ludwing Vladimir Leyton Barrientos
Vicedecano Facultad de Ciencias Agronómicas

Ing. Agr. Balmore Martínez Sierra
Secretario Facultad de Ciencias Agronómicas

Ing. Agr. Enrique Alonso Alas García
Jefe de la Unidad de Investigación
Facultad de Ciencias Agronómicas

COMITÉ EDITORIAL

Fidel Ángel Parada Berrios

Departamento de Fitotecnia, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador.

Blanca Eugenia Torres de Ortiz

Departamento de Zootecnia, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador.

Ma. Mónica Lara Uc

Profesora-Investigadora, Universidad Autónoma de Baja California Sur, La Paz, Baja California Sur, México.

Víctor D. Carmona Galindo

Director of Sustainability and Associate Professor Biology Department.
University of Detroit Mercy, Detroit Michigan, United States.

Andrea L. Joyce

Assistant Professor, University of California, Merced. United States.

Leopoldo Serrano Cervantes

Departamento de Protección Vegetal, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador.

Mario Ernesto Parada Jaco

Laboratorio de Parasitología Vegetal, Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal (CENTA).

Aisur Ignacio Agudo Padrón

Gerente Investigador del Projeto Brasileiro Autônomo "Avulsos Malacológicos - AM, Brasil.

Miguel Ángel Hernández Martínez

Escuela de Posgrado y Educación Continua, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador.

Luis A. Mejía

Adjunct Professor, Department of Food Science and Human Nutrition
University of Illinois, Urbana-Champaign

José Rutilio Quezada

Consultor Internacional, Manejo Integrado de Plagas y Control Biológico, Estados Unidos

Rudy Anthony Ramos Sosa

Departamento de Química Agrícola, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador.



CONTENIDO

Año III, Número 15
Enero - Abril 2020
ISSN 2522-6509

Rendimiento productivo de tres densidades de siembra de camarón blanco <i>Litopenaeus vannamei</i> en la estación de Maricultura, Los Cóbanos, Sonsonate, El Salvador	6
Evaluación de dos aditivos antioxidantes naturales en la elaboración de mantequilla de semilla de marañón (<i>Anacardium occidentale</i> L.) y su efecto sobre la rancidez oxidativa y calidad sensorial	15
Evaluación de cuatro dosis de poliacrilato de potasio en el desarrollo de la planta de café (<i>Coffea arabica</i> L.) y en la conservación de humedad disponible para la planta en el suelo	30
Análisis bromatológico proximal y calidad culinaria del frijol negro criollo (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.) cultivado en la zona occidental de El Salvador	46
Evaluación de tres deshidratadores solares para el tratamiento de la vinaza de caña de azúcar y análisis físico químico de los productos resultantes	55
Determinación de la calidad microbiológica de pescado fresco comercializado en el área de mariscos del mercado de mayoreo “La Tiendona”, El Salvador	68
Determinación de la Huella Hídrica en los procesos productivos de la leche y su nivel tecnológico en dos ganaderías del occidente de El Salvador	76
Zonificación agroclimática de los cultivos de fresa (<i>Fragaria chiloensis</i> L.), lechuga (<i>Lactuca sativa</i> L.) y repollo (<i>Brassica oleracea var. capitata</i> L.) en el departamento de Chalatenango, El Salvador	87
Pronunciamento de la Facultad de Ciencias Agronómicas	99

<https://revistaagrocienza.wordpress.com/>

Dirección: José Miguel Sermeño Chicas
Sub-dirección: Isidro Galileo Romero Castro
Edición gráfica: Luis Alberto Sánchez Alfaro
Edición digital: Saúl Antonio Vega Baires
Corrección de estilo: Cristina Isabel Gúzman y Selvin Mauricio Quintanilla
Fotografías de portada: Vladimir Chicas



<https://revistaagrociencia.wordpress.com/>

Artículo de investigación

Rendimiento productivo de tres densidades de siembra de camarón blanco *Litopenaeus vannamei* en la estación de Maricultura, Los Cóbano, Sonsonate, El Salvador

Productive performance of three sowing densities of white shrimps *Litopenaeus vannamei* in the Mariculture Station, Los Cóbano, Sonsonate, El Salvador

Murcia-Mena, LJ¹, Paz-Quevedo, NE¹

RESUMEN

La investigación se desarrolló en la Estación de Maricultura Los Cóbano, dependencia del Centro de Desarrollo de la Pesca y la Acuicultura (CENDEPESCA), Ministerio de Agricultura y Ganadería, en el departamento de Sonsonate, El Salvador, con una duración de 90 días, se evaluó el rendimiento del camarón blanco *Litopenaeus vannamei*, en tres densidades de siembra, siendo los tratamientos $T_1 = 10$ camarones/m², $T_2 = 20$ camarones/m² y $T_3 = 30$ camarones/m². El universo muestral fueron 3 estanques de geomembrana con 128 m² de superficie cada uno; iniciando con la preparación de los estanques para la siembra de post larva (PL12) hasta su cosecha, cuantificándose (PL12) por estanque y tratamiento. Se efectuaron muestreos de sobrevivencia semanalmente, iniciando el trigésimo día del ensayo hasta finalizar el ciclo productivo. Las variables evaluadas fueron: tallas, pesos promedios y sobrevivencia, utilizando un nivel de confianza del $p \leq 0.05$. Los resultados para las variables peso y talla promedio no presentaron una diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre tratamientos; sin embargo, para la variable sobrevivencia existieron diferencias significativas, obteniendo T_2 el mayor porcentaje de sobrevivencia con 94.5%, seguido de T_1 con 92.2% de sobrevivencia, siendo T_3 el que presentó un menor porcentaje de sobrevivencia con 31.40%. Al efectuar un análisis económico, T_2 presentó el mejor beneficio neto con USD\$128.35.

Palabras clave: Densidad de siembra de *Litopenaeus vannamei*, Sobrevivencia, Rendimiento productivo, Talla promedio, Peso promedio.

ABSTRACT

The research was carried out at Los Cóbano Mariculture Station, a dependency of the Center for the Development of Fisheries and Aquaculture (CENDEPESCA by its Spanish acronym), Ministry of Agriculture and Livestock, in the department of Sonsonate, El Salvador, with a duration of 90 days. evaluated the performance of the white shrimp *Litopenaeus vannamei*, in three stocking densities, with treatments $T_1 = 10$ shrimp / m², $T_2 = 20$ shrimp / m² and $T_3 = 30$ shrimp / m². The sample universe was 3 geomembrane ponds with 128 m² of surface each; starting with the preparation of the ponds for the post larva seeding (PL12) until harvest, quantifying (PL12) by pond and treatment. Survival samplings were carried out weekly, starting

1 Departamento de Zootecnia, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador.

on the thirtieth day of the trial until the end of the production cycle. The variables evaluated were: length, average weight and survival, using a confidence level of $p \leq 0.05$. The results for the variables weight and average height did not present a significant difference ($p \leq 0.05$) between treatments; however, for the survival variable there were significant differences, obtaining T2 the highest survival percentage with 94.5%, followed by T1 with 92.2% survival, with T3 having the lowest survival percentage with 31.40%. When making an economic analysis, T2 presented the best net profit with USD \$ 128.35.

Keywords: Sowing density *Litopenaeus vannamei*, survival, productive performance, average size, average weight.

INTRODUCCIÓN

La camaronicultura en América Latina es una actividad que genera fuentes de alimentación y desarrollo económico, que en la búsqueda de mejorar su rentabilidad ha realizado diferentes estrategias de manejo, entre ellas la implementación de diversas densidades de siembra para maximizar los recursos y formas de manejo dentro del ciclo productivo, con el afán de mejorar sus rendimientos (FAO 2015).

Las bajas densidades de siembra de camarones marinos en las camaroneras de El Salvador, no permiten que este rubro se vuelva competitivo a nivel centroamericano, cuando se han utilizado densidades de siembra mayores a 10 camarones/m² la mortalidad es superior al 40%; por esta razón, se han realizado estudios que demuestran la posibilidad de sembrar hasta 30 camarones/m² si se implementan las buenas prácticas de manejo y el monitoreo frecuente de los parámetros físico químicos del agua (CENDEPESCA 2008).

En la investigación se evaluó el rendimiento productivo de tres densidades de siembra de camarón blanco *Litopenaeus vannamei* a través de la cuantificación de tallas, pesos promedio, y determinando cuál de los tratamientos obtuvo el mayor porcentaje de sobrevivencia durante un ciclo de producción de 90 días, implementando buenas prácticas de manejo; además se realizó al final del estudio un análisis económico aplicando el método propuesto por el centro de Investigaciones para el Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT 1988) el cual se fundamenta en un análisis de presupuesto parcial y beneficios netos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del estudio

El estudio se desarrolló en la Estación de Maricultura Los Cóbano, dependencia del Centro de Desarrollo de la Pesca y Acuicultura (CENDEPESCA) del Ministerio de Agricultura y Ganadería, municipio de Acajutla, departamento de Sonsonate, El Salvador, ubicada a 13°54'47.76"N y -89°82'32.87"O, con una elevación de 4 msnm (CENDEPESCA 2008), cuenta con una precipitación de 1689 mm y una temperatura promedio anual de 26.3°C anual (Climate-Data.ORG s.f.).

Descripción de los tratamientos

Los tratamientos a evaluar fueron tres densidades de siembra, utilizando postlarvas 12 (PL12), siendo T1= 10 camarones/m² densidad recomendada por la FAO (2015), para cultivos semiintensivos, la cual implementan la mayoría de camaroneras a nivel nacional, T2= 20 camarones/m² y T3= 30 camarones/m².

Materiales y equipos

Los materiales que se utilizaron en el experimento fueron post-larvas (PL12) de camarón blanco (*L. vannamei*), concentrado comercial con 25% de proteína, baldes plásticos; los equipos fueron: medidor de pH (Auto calibración Az-8685), sonda multiparamétrica (YSI Pro20/campo medidor de Oxígeno Disuelto / Temperatura), disco Secchi, balanza digital con precisión en decimas de gramo (PS 50-M), vernier, atarrayas de 7 metros de longitud, bomba de 15 HP, 3 estanques de geomembrana (tienen una forma circular con una profundidad

de 1.30 metros cada uno con el centro de drenaje de aproximadamente de 10.80 cm de diámetro (4¼ pulgadas) donde se instaló un tubo de PVC con una malla fina de multifilamento de 500 µm para evitar la fuga de las post-larvas), cuaderno de campo, computadora, Software INFO STAT versión 2017 y Word Microsoft Office Professional Plus 2016.

Trabajo de campo

Aspectos de manejo

Para el manejo de los estanques, se mantuvieron constantes recambios de agua semanales, realizando un vaciado del 30% de su capacidad utilizando un sifón en cuyo extremo se le colocó una malla multifilamento de 500 µm para evitar la fuga de post-larvas, realizándose semanalmente, para facilitar la evacuación de desechos consistentes en excrementos, restos de alimento concentrado y algas que se acumulaban por la naturaleza de los estanques y evitando problemas de déficit de oxígeno en el cultivo.

Preparación de los estanques

Limpieza y desinfección de los estanques

Se inició con la preparación de los estanques a finales de septiembre, posteriormente se drenaron los estanques denominado vaciado sanitario. Se efectuó la limpieza de cada estanque, realizando la remoción de material ajeno a los mismos, se procedió al lavado de las paredes y fondo del estanque aplicando 1kg de cal diluida por estanque únicamente con el fin de facilitar el desprendimiento de algas de las paredes y fondo de los estanques de geomembrana. Una vez terminado, se colocaron mallas filtradoras sobre el tubo de drenaje al centro de cada estanque para evitar la fuga de post-larvas, y se instaló el sistema de aireación, procediendo al llenado de los estanques mediante el uso de una bomba con una capacidad de 15 HP hasta llenar el 80% de su capacidad, se efectuó la fertilización de los estanques utilizando 0.45 kg de fertilizante comercial triple 15 por estanque tres días previo a la siembra de post-larvas.

Siembra de Post-larvas

Se efectuó el acondicionamiento de las post-larvas (PL12) (Figura 1), tomando los parámetros físicos del agua de los estanques y estandarizándolo a las condiciones de salinidad y oxígeno disuelto de las post-larvas; seguidamente se les ofreció una pequeña ración de concentrado comercial con 25% de proteína molido disperso al voleo en el sitio que se efectuó la siembra, para contrarrestar el estrés provocado por el traslado hacia los estanques y favorecer la adaptación a su nuevo entorno.



Figura 1. Siembra de post-larvas (PL 12).

Monitoreo de parámetros físico-químicos

Se seleccionó un sitio del estanque para realizar los monitoreos semanales a la misma hora del día (6:00 a.m. y 4:00 p.m. a excepción de la turbidez 11:00 a.m.), controlando turbidez a través de un disco Secchi sumergiéndolo en el espejo de agua hasta que se perdió su visibilidad.

Se midió la temperatura, oxígeno disuelto y salinidad con una sonda multiparamétrica (YSI), además del valor de pH previamente calibrando cada equipo e introduciéndolo en el agua a una profundidad de 30 cm dejándola en el sitio hasta estabilizarse y se anotaron dichos datos.

Alimentación

Se utilizó concentrado comercial con un contenido de 25% de proteína, ofreciéndolo las primeras dos semanas en forma molida para facilitar el consumo

por parte de las post-larvas (Figura 2); durante los quince días después de la siembra, se brindó sin moler esparciendo el alimento al voleo de manera uniforme por toda la periferia del estanque, suministrando la primera ración a las 6:00 a.m. y la segunda ración durante la tarde a las 4:00 p.m.

El suministro de la ración diaria se realizó de acuerdo a muestreos semanales, utilizando para ello una atarraya, se tomaron muestras aleatorias de 80 camarones en diferentes sitios de cada estanque, para determinar su desarrollo basados en longitud, peso y biomasa del camarón semanalmente.



Figura 2. Ración alimenticia post siembra de camarón blanco.

Registro de Pesos

Se efectuó la toma del registro de pesos para el análisis de datos, dando inicio 30 días después de la siembra, cada semana hasta finalizar los 90 días del ciclo productivo, con lo cual se fue evaluando el desarrollo y crecimiento que registró el camarón blanco, para lo cual se tomó una muestra aleatoria de 80 camarones por estanque con una atarraya de 7 metros de longitud, con una malla de 25 mm de diámetro, repitiendo el procedimiento en cada uno de los muestreos. Los camarones muestreados se colocaron en baldes plásticos con agua del estanque.

El peso total de los camarones se obtuvo utilizando una balanza con precisión en gramos (Figura 3), realizando las anotaciones correspondientes en el cuaderno de campo. Para efecto de los cálculos se obtuvo un peso promedio semanal.



Figura 3. Monitoreo de pesos del camarón blanco.

Registro de tallas

Para la realización de los muestreos se utilizó una atarraya de 7 metros de longitud, con una malla de 25 mm de diámetro, repitiendo el procedimiento en cada uno de los muestreos, los camarones muestreados se colocaron en baldes plásticos con agua del estanque, determinando su longitud total, medida con un vernier en milímetros desde la región post-orbital hasta la parte posterior del telson (cola) (Figura 4), después se calculó la talla promedio por muestreo.



Figura 4. Monitoreo de talla de camarón blanco.

Porcentaje de Supervivencia

Para la determinación del porcentaje de supervivencia al final del ciclo productivo del camarón, se efectuó la relación de la cantidad de camarones cosechados versus los sembrados por estanque (Cloud *et al.*, 2005).

Este muestreo se realizó con la finalidad de estimar la supervivencia de los organismos, dicho muestreo se

ejecutó 28 días posteriores de efectuada la siembra y se realizó con una frecuencia de 15 días con el objetivo de estimar el número de organismos vivos en el estanque, realizándose a partir del número promedio de organismos capturados en cada lance de atarraya, conociendo el área de la atarraya y se multiplicó por el área del estanque (Acuícola del Delfín SC de RL de CV. 2003).

ANÁLISIS DE DATOS

Para el análisis de los datos se aplicó un diseño completamente al azar con tres tratamientos y seis repeticiones con una probabilidad $p \leq 0.05$.

Previo al análisis de varianza se verificó el cumplimiento del supuesto de distribución normal aplicando la prueba de Shapiro Wilks, apoyado del software estadístico INFO STAT.

Las variables del estudio se distribuyeron en tres tratamientos (Cuadro 1).

Cuadro 1. Variables del estudio.

Variable Independiente.	Variables dependientes.
T1= Densidad de siembra 10 camarones/m ²	Pesos promedio
T2= Densidad de siembra 20 camarones/m ²	Tallas promedio
T3= Densidad de siembra 30 camarones/m ²	Porcentaje de sobrevivencia

Metodología socioeconómica

Para el análisis económico de la investigación, se aplicó el método propuesto por el Centro de Investigaciones para el Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT 1988), el cual se fundamenta en un análisis de presupuesto parcial y beneficios netos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Variable peso promedio

Estadísticamente las densidades de siembra de 10 camarones/m², 20 camarones/m² y 30 camarones/m², produjeron iguales efectos sobre la variable peso promedio al final del ciclo productivo.

Gráficamente puede observarse mediante la Figura 5, un comportamiento similar entre las tres densidades de siembra, sobre la variable peso promedio por semana, presentando menores pesos la densidad de 30 camarones/m², seguido de la densidad de 20 y 10 camarones/m².

De acuerdo con la FAO (2015) y CENDEPESCA (2008), el peso promedio al finalizar el ciclo productivo

debería oscilar entre 12 a 14 gramos. Sin embargo, Cuéllar *et al.* (2010), sostienen que los pesos obtenidos al finalizar un ciclo productivo no siempre se encuentran dentro del rango de 12 a 14 gramos, dado que no se implementan las mismas prácticas de manejo, alimentación y control de los parámetros físico químicos (oxígeno disuelto, salinidad, turbidez, pH y temperatura).

Los resultados obtenidos en la investigación son coincidentes con los autores anteriormente citados, ya que el manejo que se le dio a los camarones fue el mismo que ellos utilizaron en sus trabajos de investigación, el cual fue un sistema semi intensivo. Presentando los mejores pesos promedio las densidades de 10 y 20 camarones/m².

Variable talla promedio

Estadísticamente al utilizar densidades de siembra de 10 camarones/m², 20 camarones/m² y 30 camarones/m² de *Litopenaeus vannamei* no presentan diferencias estadísticamente significativas utilizando un nivel de confianza del 5% en las tallas promedio.

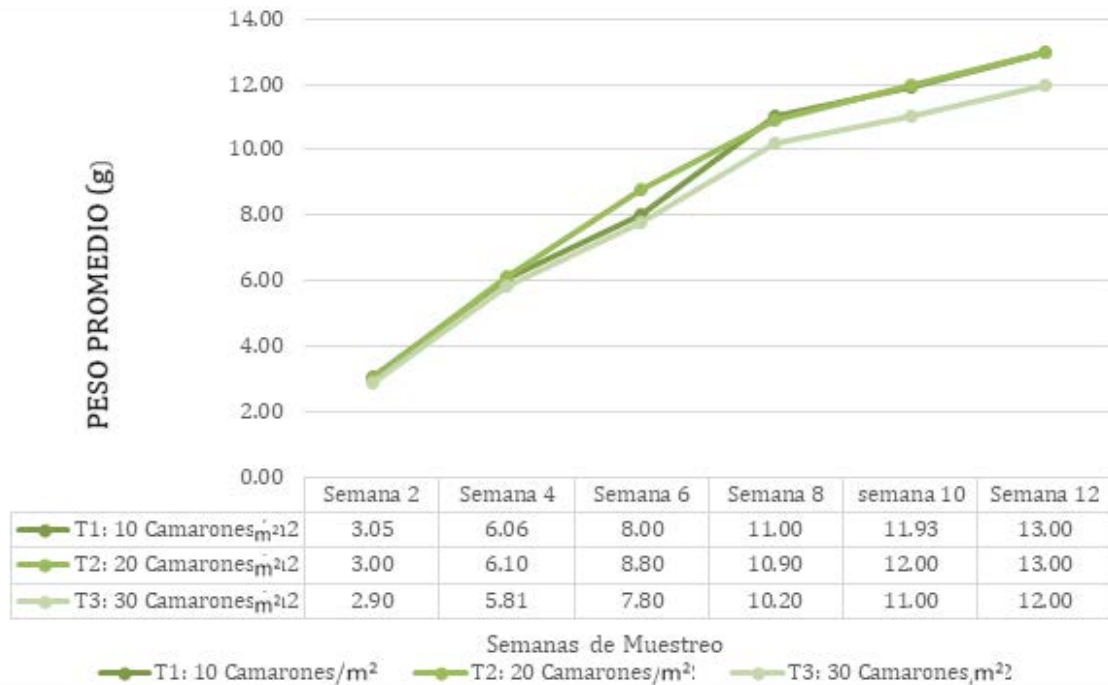


Figura 5. Variable peso promedio de camarón blanco.

Gráficamente se observó en Figura 6 que al utilizar una densidad de siembra de 10 camarones/m² presentan mejores tallas promedio confrontadas

con densidades de siembra de 20 camarones/m² y 30 camarones/m², en los que no muestran un aumento significativo en la variable talla.



Figura 6. Tallas promedio de camarón blanco.

Oddone y Beltrán (2014), reportaron que la talla comercial de camarón *Litopenaeus vannamei* para cultivos semi-intensivos presentan valores entre 11.5 cm a 25 cm de longitud al final del ciclo productivo.

Los datos presentados en el estudio se encuentran entre los parámetros esperados, obteniendo tallas con un promedio de 12.5 cm a 13.5 cm. Se observó que al incrementar la densidad de siembra, se puede obtener similar desarrollo en cuanto a talla promedio por estanque en el camarón, en comparación a que se

utilizara una densidad de siembra menor.

Variable sobrevivencia

Gráficamente se observa en la Figura 7 que al implementar una densidad de siembra de 10 camarones/m², resultó una sobrevivencia del 92.20% en comparación con la utilización de una densidad de siembra de 20 camarones/m² con el 94.53% y 30 camarones/m² con 31.45% de sobrevivencia.

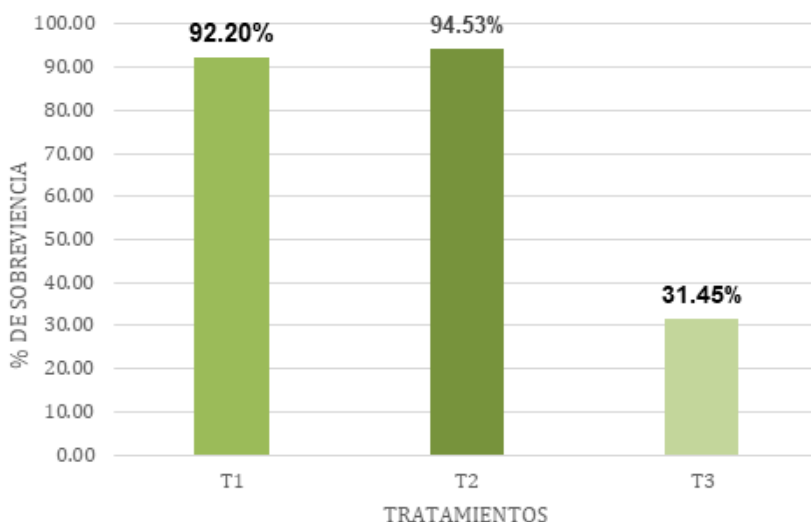


Figura 7. Variable porcentaje de sobrevivencia.

Oddone y Beltrán (2014), expresan que los parámetros técnicos del sistema de producción de un cultivo semi-intensivo en una densidad de siembra de 10 camarones/m², la sobrevivencia es del 75%.

De acuerdo, a datos oficiales de la FAO (2005), la sobrevivencia para un sistema de cultivo semi-intensivo coinciden con los datos obtenidos en esta investigación para los tratamientos T1:10 camarones/m² con un porcentaje de sobrevivencia de 92.20% y T2:20 camarones/m² con un porcentaje de sobrevivencia de 94.53%.

Se muestra la tendencia en el número de camarones cosechados al final del ciclo productivo para T1 con una mayor producción correspondiente a 1180 camarones cosechados, seguido de T2 con una

producción 2420 camarones, siendo T3 el que obtuvo el menor margen de producción con 1208 camarones.

Análisis económico

Presupuesto parcial

Se comprobó que existen mayores rendimientos medios y mayor beneficio bruto de campo, utilizando una densidad de 20 camarones/m² (T2), así mismo hay un mayor beneficio neto de campo.

En la Figura 8, se observa que T2, correspondiente a una densidad de siembra de 20 camarones/m² presenta el mayor beneficio neto con respecto a T1 que consisten en una densidad de 10 camarones/m² y generando el menor beneficio neto T3 que corresponde a densidad de 30 camarones/m².



Figura 8. Curva de beneficios netos.

Se estableció que la densidad de siembra de 20 camarones/m² presenta el mayor beneficio neto con respecto a los demás tratamientos.

Tasa de retorno marginal.

Se determinó que por cada USD\$1.00 que se invierte en una densidad de siembra de 20 camarones/m², el camaricultor recupera USD\$ 1.00 y obtiene USD\$ 3.91 adicional.

Quiere decir que, al invertir en una densidad de siembra de 20 camarones/m², el camaricultor obtendrá una TRMg del 391.04% de su inversión total.

CONCLUSIONES

Se demostró estadísticamente que no existen diferencias significativas en las variables peso y talla promedio, al implementar diferentes densidades de siembra.

Estadísticamente, se obtuvo diferencias significativas en la sobrevivencia de las densidades de siembra estudiadas, siendo el T2 con mayor sobrevivencia al final del ciclo productivo con un 94.50%, seguido del T1 con un 92.20 % y el T3 con un menor porcentaje correspondiente al 31.40%.

En el análisis de presupuesto parcial se demuestra que económicamente existen diferencias significativas, al utilizar una densidad de siembra de 20 camarones/m² se reporta una mayor tasa de retorno marginal con

391.04% o USD\$ 3.91 comparado con los tratamientos 1 y 3.

Se determinó que existe una predominancia entre tratamientos, siendo el tratamiento 3 el dominado con la obtención del menor beneficio neto en USD\$ 38.41 y el que es superado por el tratamiento 1 con beneficio neto de USD\$ 57.57.

Se demostró que existe un mayor Beneficio Neto de campo al implementar una densidad de siembra de 20 camarones/m² con USD\$128.35, comparado a la utilización de densidades de siembra de 10 camarones/m² y 30 camarones/m² con un Beneficio Neto de Campo de USD\$57.57 y USD\$ 38.41, respectivamente.

AGRADECIMIENTOS

A CENDEPESCA, por otorgarnos el permiso para elaborar y ejecutar este proyecto de investigación en una de sus Estaciones.

A la Estación de Maricultura de Los Cóbano y personal de trabajo, por brindar el apoyo necesario en la realización de fase de campo de la investigación.

BIBLIOGRAFÍA

Acuícola del Delfín SC de RL de CV, 2003. Manifestación de impacto ambiental. Engorda Semi intensiva de camarón blanco *Litopenaeus vanammei* y mojarra *Tilapia nilotica* en estanques rústicos en la RA El Mingo, Cárdenas, Tabasco.

73p. Consultado 20 de diciembre de 2019. <http://sinat.semarnat.gob.mx/dgiraDocs/documentos/tab/estudios/2003/27TA2003PD025.pdf>

CENDEPESCA. 2008. Manual sobre “Reproducción y cultivo del camarón blanco (*Litopenaeus vannamei*)”. C. A. SV., 27-28p. Consultado 15 de diciembre de 2019. <https://docplayer.es/72794115-Manual-sobre-reproduccion-y-cultivo-del-camaron-blanco-litopenaeus-vannamei.html>

CIMMYT. 1988. La formulación de Recomendación a partir de Datos Agronómicos. México D.F. MX., p.9-11.

Climate Data.ORG s.f. Consultado 6 de agosto de 2018. Disponible en: <https://es.climate-data.org/location/45836/>

Cloud B, Chang Kwei L, Pantoja C, Lightner D, Brock J, Jhonson K, Trece C. 2005. Buenas Prácticas de Manejo para el Cultivo de Camarón. Prácticas de Desarrollo Sostenible en Ambientes Costeros de prioridad de los Ecosistemas del Golfo de California Camaronicultura. p.10-38.

Cuéllar Anjel, J; Lara, C, Morales, V., Gracia, A de, García Suárez, O.2010. Manual de buenas prácticas de manejo para el cultivo del camarón blanco *Penaeus vannamei*. OIRSA (Organismo Internacional Regional de Sanidad Agropecuaria) OSPESCA (Organización del Sector Pesquero y Acuícola del Istmo Centroamericano, C.A.). PA., 132p.

FAO. 2015. Manual para la cría de camarones Peneidos. Programa de información de especies acuáticas. Departamento de Pesca y Acuicultura. **GCP/RLA.075/ITA, Documento de campo 8(Es).** Consultado 16 de mayo de 2019. Disponible en: <http://www.fao.org/3/ab466s/AB466S00.htm#TOC>

Oddone, N., Beltrán S. 2014. Diagnóstico de la cadena de camarón de cultivo en El Salvador. CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe). Cooperación Alemana. MX. p.1-77.



<https://revistaagrociencia.wordpress.com/>



Artículo de investigación

Evaluación de dos aditivos antioxidantes naturales en la elaboración de mantequilla de semilla de marañón (*Anacardium occidentale* L.) y su efecto sobre la rancidez oxidativa y calidad sensorial

Evaluation of two natural antioxidant additives in the production of cashew nut butter (*Anacardium occidentale* L.) and their effect on oxidative rancidity and sensory quality

Bernal-Ayala EA¹, Cuchillas-Gaitán IS¹, Hernández-Marín EE¹, Ramos-Cortez S², Bermúdez-Márquez MA².

RESUMEN

En la investigación se evaluaron dos aditivos antioxidantes naturales adicionados en mantequilla de semilla de marañón bajo tres tratamientos: T1 sin antioxidantes (testigo control), T2 con Tocoferoles (25 mg/kg) y T3 con Lecitina de soya (10 g/kg), con el propósito de conocer su efecto sobre la rancidez oxidativa y calidad sensorial en la mantequilla elaborada a partir de la semilla de marañón, por un periodo de 180 días, bajo un diseño completo al azar con seis repeticiones. En todos los tratamientos se utilizó semilla de marañón quebrada, aceite de oliva y dulce de panela. Las semillas se procesaron en molino de disco de 200 revoluciones y se depositó en frascos de vidrio de 225 gramos, almacenándose los tratamientos en caja de cartón a temperatura ambiente y bajo oscuridad. Se realizaron seis mediciones de índice de peróxido (IP) por tratamiento y tres evaluaciones sensoriales, en intervalo de 60 días cada una. Para las evaluaciones sensoriales se utilizó una prueba afectiva de aceptación, utilizando 30 panelistas, quienes calificaron el color, olor, sabor y textura. Los datos de las evaluaciones sensoriales, se analizaron a través del método multivariado de componentes principales, análisis de varianza y prueba estadística diferencia mínima significativa de Fisher (LSD) con una probabilidad del 0.05. Los valores de IP a los 120 días fueron no cuantificables (<0.2 meq/kg). La mantequilla mantuvo su estabilidad oxidativa, debido a que los valores de IP detectados a los 150 y 180 días están bajo el límite permisible (10 meq/kg) definido por la Norma para Grasas y Aceites Comestibles del Codex Alimentarius. No existió efecto de los tratamientos sobre los atributos sensoriales evaluados, manteniéndose la aceptación entre "ligeramente agradable" y "agradable". Se encontró efectos significativos del factor tiempo en los atributos color y textura a los 180 días, siendo mejor evaluado el color, mientras que la textura disminuyó su nivel de agrado.

Palabras claves: tocoferoles, lecitina de soya, índice de peróxido, mantequilla de semilla de marañón, análisis sensorial.

1 Departamento de Fitotecnia, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador.

2 Docente Director, Departamento de Fitotecnia, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador.

ABSTRACT

In this research, two natural antioxidant additives added in cashew butter were evaluated, under three treatments: T1 without antioxidants (control control), T2 with Tocopherols (25 mg / kg) and T3 with soy Lecithin (10 g / kg). With the purpose of knowing its effect on oxidative rancidity and sensory quality in butter made from cashew seed, for a period of 180 days, under a randomized complete design with six repetitions. Broken cashew seed, olive oil and panela candy were used in all treatments. The seeds were processed in a 200 revolutions disk mill and placed in 225g glass jars. Treatments were stored in a cardboard box at room temperature and under darkness. Six peroxide index (PI) measurements per treatment and three sensory evaluations were performed. The measurement interval was 60 days each. For the sensory evaluations, an affective acceptance test was used, using 30 panelists, who rated the color, smell, taste and texture. The data from the sensory evaluations were analyzed using the multivariate principal components method, analysis of variance and the Statistical Minimum Difference Fisher's Test (LSD) with a probability of 0.05. The IP values at 120 days were not quantifiable (<0.2 meq / kg). The butter maintained its oxidative stability, since the IP values detected at 150 and 180 days are below the permissible limit (10meq / kg) defined by the Codex Alimentarius Standard for Edible Fats and Oils. There was no effect of the treatments on the sensory attributes evaluated, keeping the acceptance between "slightly pleasant" and "pleasant". Significant effects of the time factor were found in the color and texture attributes at 180 days, with color being better evaluated, while the texture decreased its level of satisfaction.

Keywords: Tocopherols, soy lecithin, peroxide index, cashew nut butter, sensory analysis.

INTRODUCCIÓN

La nuez es el fruto verdadero del marañón (*Anacardium occidentale* L.) del cual se extraen los cotiledones, la parte comestible conocida como semilla o almendra de marañón (Álvarez 2017). Estas, se destacan por ser un alimento con un contenido de 46% de grasa, de las cuales 81.5% son ácidos grasos insaturados; así como 25% de proteína y 26.5% de carbohidratos (Montenegro y Obando 2015). Además son fuente de minerales como el calcio, fósforo, hierro, magnesio y vitaminas A, B, C y E.

En El Salvador, existe alrededor de 2,446 hectáreas de cultivo de marañón manejadas en su mayoría de manera orgánica (Martínez 2006), con una producción promedio anual de 944.5 TM (MAG 2017). Los productores asociados, generalmente realizan un proceso mecánico de separación de nueces; dicho proceso genera entre 40 a 54% de almendras quebradas (Constanza *et al.* 2017; Álvarez 2017); las cuales reducen la calidad y rentabilidad del producto final, ya que su precio es inferior a las almendras enteras exportadas hacia Estados Unidos, Francia, Reino Unido y Bélgica (Guzmán 2015).

Los productores para amortiguar las pérdidas, procesan esta clasificación de semillas en harina o simplemente las comercializan para la decoración

de productos de pastelería. Otra alternativa de aprovechamiento, es la elaboración de alimentos untables tipo mantequilla elaborada a partir de almendras horneadas y molidas, aceite vegetal, sal, azúcar, saborizantes y antioxidantes (Álvarez 2008). Análisis bromatológicos realizados en este alimento, han determinado que contiene 46.9% de grasa, 26.7% de proteína y 30.7% de carbohidratos (Constanza *et al.* 2017).

El alto porcentaje de lípidos en la mantequilla de semilla de marañón, sobre todo ácidos grasos insaturados y poliinsaturado (Álvarez 2008), propicia el fenómeno de rancidez oxidativa, que influye directamente en la vida útil del alimento por el desarrollo de sabores y olores indeseados, derivado de los compuestos aromáticos secundarios durante el proceso oxidativo, entre ellos aldehídos, cetonas, alcoholes, entre otros (Medina s.f.); así como disminuye el valor nutricional por la destrucción de los ácidos grasos, vitaminas y aminoácidos, alterando las características organolépticas que reducen la aceptabilidad del consumidor (Gallinger 2015).

La rancidez oxidativa se produce a través de una serie de reacciones de radicales libres, principalmente oxígeno atmosférico, que oxida los dobles enlaces de los ácidos grasos insaturados (Rojano 2000). Los radicales libres, son átomos o grupo de átomos,

que tienen uno o más electrones sin aparear en su última capa, por lo tanto son inestables y reaccionan destruyendo las moléculas grasas (Cortés s.f.) en la manteca. Para evaluar el grado de oxidación en este tipo de alimentos, se recurre a diversos métodos, entre ellos el Índice de peróxidos (Badui 2006), el cual requiere de instrumental de laboratorio.

El Índice de Peróxidos (IP), es una medida del oxígeno reactivo unido a las grasas en forma de radicales peróxidos e hidroperóxido, desarrollados en la fase inicial del proceso oxidativo (Moromisato 2015), expresado en mili-equivalentes de oxígeno por kilogramo de grasa (Meq/kg). El Codex Alimentarius (2015) en la Norma para Grasas y Aceites comestibles no Regulados por Normas Individuales, establece 10 meq/kg como valor límite para la comercialización de productos alimenticios, entre ellos los alimentos tipo manteca.

Para evitar los efectos generados por la rancidez oxidativa, la industria alimentaria recurre principalmente al uso de aditivos antioxidantes sintéticos, así como aceites vegetales hidrogenados como estabilizantes para evitar la separación de las grasas (Millán 2007), que bajo condiciones de humedad elevada, temperatura altas y la exposición directa a la luz y oxígeno, acelera el proceso oxidativo de los ácidos grasos (Gills y Resurrección 2000).

Los antioxidantes sintéticos, son cuestionados por su efecto tóxico y promotor de agentes cancerígenos (Armenteros *et al.* 2012). Esto ha derivado en la reducción de la utilización de estos antioxidantes, el desarrollo de investigación y uso de antioxidantes de origen natural (Mundo alimentario 2010) considerados seguros para la salud del consumidor (Flores 2011). Este tipo de antioxidantes, al igual que los sintéticos, previenen la oxidación de los ácidos grasos, al actuar como donadores de electrones que son captados por los radicales libres, convirtiéndolos en estables y no reactivos (Cortés s.f.).

El desarrollo de investigaciones sobre el uso de antioxidantes naturales en manteca de semilla de marañón son nulas en El Salvador; sin embargo

hay antecedentes de investigaciones foráneas en alimentos similares como la de Millán (2007), quien elaboró manteca de almendra nuez de nogal con ácido ascórbico como antioxidante natural; obteniendo un valor de IP de 1.49 meq/kg a los 49 días, para el tratamiento con antioxidante natural y 2.1 meq/kg para el testigo. Este mismo autor reportó una vida de anaquel de estos alimentos, sin la adición de antioxidantes de 60 días. Así mismo Solís (2003) en manteca de maní obtuvo un resultado de Índice de peróxido (IP) de 1.27 meq/kg a los 32 días, indicando que este valor puede llegar a 5.6 meq/kg a los 90 días.

En este sentido, el objetivo de esta investigación se centró en evaluar dos antioxidantes naturales (tocoferoles y lecitina de soya) en la elaboración de manteca de semilla de marañón y su efecto sobre la rancidez oxidativa a través de la determinación de IP; y calidad sensorial, utilizando una prueba afectiva, en la que se midió el nivel de aceptación de los atributos color, olor, sabor y textura. Adicional a esto, se determinó el porcentaje de grasa, actividad de agua (a_w), *Salmonella spp.*, y análisis de costo por tratamientos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se evaluaron aditivos antioxidantes naturales adicionados en manteca de semilla de marañón con el objetivo de determinar el efecto sobre la rancidez oxidativa y calidad sensorial durante 180 días, iniciando en el mes de diciembre de 2018, hasta junio de 2019. La elaboración de la manteca se realizó en las Instalaciones de la Planta Procesadora de frutas y hortalizas de la Estación Experimental y de Prácticas de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador, donde se procesó los tratamientos y envasó las unidades experimentales. El almacenamiento de los tratamientos se realizó en el Centro de Investigación y Desarrollo en Salud (CENSALUD) de la Universidad de El Salvador, y el desarrollo de las evaluaciones sensoriales en el aula de estudios de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador. Esta se realizó en

dos fases: de procesamiento y laboratorio.

Metodología de procesamientos

Materias primas:

Para la elaboración de la mantequilla de marañón se utilizó **semilla de marañón de clasificación pedazos pequeños, la cual se adquirió** de la Asociación de Productores Agroindustriales Orgánicos de El Salvador (APRAINNORES), panela de dulce molida usada como endulzante y aceite de oliva como mejorador de textura; ambos productos adquiridos en supermercado.

Antioxidantes naturales

La elaboración de la mantequilla de semilla de marañón, incluyó la incorporación de aditivos antioxidantes naturales los cuales fueron: Tocoferoles y lecitina de soya, ambos con especificaciones para ser utilizados en alimentos.

Equipos utilizados

Se utilizó principalmente: molino de discos TORINO de 200 revoluciones, balanza digital semi-analítica Z-DAUS, modelo FD15, balanza digital semi-analítica SCOUT PRO modelo SP40, termómetro digital TRACEABLE modelo RS-232 y estufa de gas CETRON de 6 quemadores.

Materiales y utensilios

Se usaron principalmente: recipientes plásticos, frascos de vidrio de 8 onzas con tapadera metálica, cucharas metálicas y de goma, bolsas de polietileno, mascarillas y redcillas desechables, guantes de polietileno y papel toalla.

Formulaciones utilizadas por cada tratamiento.

Se utilizó como base, la formulación desarrollada para mantequilla de semilla de marañón de Álvarez (2008), en la que incluyó Butilhidroxianisol y Terbutil Hidroquinona, como antioxidantes sintéticos e ingredientes como sal y azúcar. La formulación desarrollada incluyó cambios, entre ellos la utilización de antioxidantes naturales como tratamientos e incorporación de panela de dulce molida (Cuadro 1).

Cuadro 1. Formulas porcentuales y de producción para cada tratamiento de mantequilla de semilla de marañón.

Tratamientos		Semilla de marañón	Dulce de panela	Aceite de Oliva	Tocoferoles	Lecitina de soya	Total
T1: Sin Antioxidante	%	86.00	10.00	4.00	-	-	100.00
	lb	7.00	0.81	0.32	-	-	8.13
T2: Tocoferoles (25 mg/kg)	%	85.97	10.00	4.00	0.03	-	100.00
	lb	7.00	0.81	0.32	0.002	-	8.13
T3: Lecitina de soya (10g/kg)	%	85.00	10.00	4.00	-	1.00	100.00
	lb	7.00	0.82	0.32	-	0.08	8.22

Proceso de elaboración

La mantequilla de semilla de marañón se elaboró siguiendo las siguientes etapas:

Recepción de materia prima: las semillas de marañón se recibieron en bolsas de polietileno de libra, previamente sometida a un tostado durante

60 minutos a 90 °C. Fueron almacenadas en cajas plásticas en un lugar seco a temperatura ambiente, separando impurezas como restos de testa o cáscara.

Pesaje de ingredientes: Los ingredientes fueron pesados en balanza digital de acuerdo a las cantidades por formulación.

Primera molienda: las semillas de marañón se molieron hasta obtener la pasta base con un tamaño de partícula de aproximadamente 50 micras.

Formulación y mezclado: se mezclaron los ingredientes con la pasta base, según formulación; adicionando la panela de dulce molida y aceite de oliva mezclado con el aditivo antioxidante correspondiente.

Segunda molienda: se realizó una segunda molienda por formulación, con la finalidad de homogenizar la mezcla y obtener una pasta más fina y sin grumos.

Envasado: los frascos de vidrio previamente esterilizados se llenaron con 225 gramos de mantequilla con la ayuda de bolsas de polietileno. Se colocaron las tapas y se cerraron herméticamente.

Almacenamiento: se rotularon las unidades experimentales según tratamiento y repetición, se depositaron en una caja de cartón y se colocaron sobre un estante a temperatura ambiente (28 - 32 °C) y bajo oscuridad total.

Metodología de laboratorio

Determinación de Índice de Peróxido (IP)

Las determinaciones de IP, se realizaron en el Laboratorio Especializado en Control de Calidad (LECC) ubicado en la ciudad de San Salvador. Se hicieron seis mediciones por tratamiento, con intervalo de 30 días cada una; apoyándonos con un método Titrimétrico. El resultado es expresado en mili-equivalentes de oxígeno por kilogramo de grasa (meq/kg).

Determinación de grasas.

También se llevó a cabo en el Laboratorio Especializado en Control de Calidad (LECC) a través del sistema de análisis Soxtec AOAC 9136, a una muestra del tratamiento sin antioxidante con 150 días de almacenamiento.

Determinación de actividad de agua (a_w)

Se desarrolló en el laboratorio Centro de Control de Calidad Industrial (CCCI), ubicado en la ciudad de San Salvador, El Salvador. El análisis se aplicó a la muestra sin antioxidantes con 150 días de almacenamiento, de acuerdo con las pautas de la American Public Health Association (2001), capítulo 64.

Determinación de *Salmonella* spp.

La detección de *Salmonella* spp., se realizó siguiendo la metodología del Manual de Análisis Bacteriológico de Wallace *et al.* (2007) capítulo 5, en el Laboratorio de Control de Calidad Microbiológico de Alimentos, Medicamentos y Aguas de CENSALUD; a los tres tratamientos, a los 15 y 180 días de almacenamiento.

Análisis sensorial

Esto implicó realizar tres evaluaciones sensoriales a la mantequilla, a los 60, 120 y 180 días de almacenamiento; utilizando tres grupos integrados por 30 panelistas de tipo consumidor final, quienes midieron el nivel de aceptación de los atributos: color, olor, sabor y textura. Para la selección de los catadores, se tomó en cuenta que no fueran alérgicos a la semilla y que consumieran habitualmente este alimento o similares, como la mantequilla de maní.

Se utilizó una prueba afectiva de aceptación, utilizando una ficha de catación con una escala de 10 puntos por atributo, siendo el 1 "desagradable" y el 10 "agradable". Para la interpretación de valores se establecieron los siguientes criterios en la escala hedónica verbal: 1 = Desagradable, 2 = Moderadamente desagradable, 3 = Poco desagradable, 4 = Ligeramente desagradable, 5 = No me agrada, ni me desagrada, 6 = ligeramente agradable y de 7-10 = agradable.

Para cada atributo evaluado en la ficha de catación, el valor numérico se estableció según el punto marcado por el panelista en la escala (Figura 1).

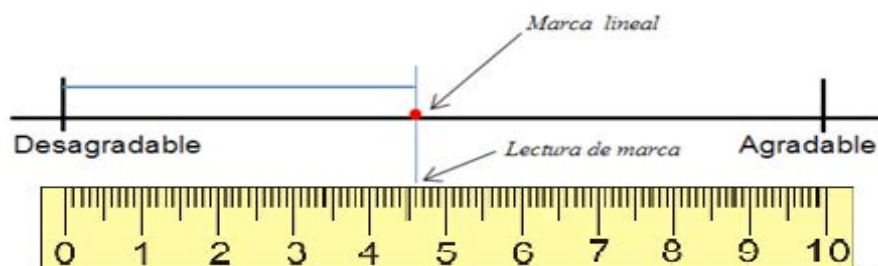


Figura 1. Ejemplo de lectura de la escala por atributo evaluado.

Materiales utilizados e insumos

Para las evaluaciones sensoriales se utilizaron los siguientes materiales: fichas de catación, bolígrafos, bandejas desechables de aluminio, recipientes de papel plisado para degustación de 30 cc, paletas de madera para degustación, vasos desechables de papel de 6 onzas, servilletas, galletas de trigo, agua purificada, guantes de polietileno, mascarilla y reddecilla.

Acondicionamiento del lugar de catación

Previo al desarrollo de cada evaluación sensorial, se llevó a cabo la limpieza y acondicionamiento del aula de estudios; así también la desinfección de las mesas utilizadas para la catación y preparación de muestras.

Preparación de muestras

Se codificaron los recipientes de degustación, según el cuadro de códigos establecidos para cada tratamiento, y se colocó aproximadamente 10 gramos de mantequilla en cada recipiente, acondicionándolos en tres bandejas de aluminio por tratamiento.

Evaluación por catadores

A cada panelista se le entregaron tres fichas de catación, un lapicero, tres muestras de mantequilla, una por cada tratamiento; así como una galleta de trigo, agua y servilleta. Los panelistas recibieron instrucción de comer una porción de galleta y tomar agua entre las evaluaciones de las muestras.

Análisis de datos

Para el análisis de los datos obtenidos en la investigación, se aplicaron métodos descriptivos como el análisis sensorial a través de un análisis de componentes principales, y métodos inferenciales como el análisis de varianza, a través de un diseño completo al azar con tres tratamientos y seis repeticiones, haciendo un total de 18 repeticiones y una prueba estadística de diferencia mínima significativa. Constituyendo el factor de estudio: los antioxidantes naturales adicionados a las formulaciones de la mantequilla de semilla de marañón y el testigo control. La variable respuesta fue la rancidez oxidativa, la cual se midió a través de los valores de IP.

Para las evaluaciones sensoriales, se elaboró una base de datos en Microsoft Excel y se trasladó a una matriz simple en la base de datos del software estadístico Infostat versión estudiantil para análisis sensorial y método multivariado de componentes principales (ACP); utilizando un nivel de significancia del 5%, esto para el análisis exploratorio del comportamiento de los panelistas en el tiempo con respecto a los atributos evaluados.

Determinación de costos

El análisis de costos por tratamientos, se realizó tomando en cuenta los costos variables de producción, para los insumos: semilla de marañón quebrada, dulce de panela molido, aceite de oliva extra virgen, tocoferoles, lecitina de soya y envases utilizados para la elaboración de 8.0 libras de mantequilla de semilla de marañón; comparando los tratamientos con la

finalidad de encontrar el tratamiento de menor costo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Índice de Peróxido (IP)

El índice de Peróxido (IP), es uno de los principales métodos para determinar el grado de oxidación de los lípidos contenidos en los alimentos, estos miden la formación de radicales peróxidos e hidroperóxidos formados durante el proceso oxidativo. En el Cuadro 2, se presentan los valores de índice de peróxido (IP) obtenidos para los tres tratamientos de mantequilla de semilla de marañón sometidos a evaluación

durante 180 días. Durante los primeros 120 días de almacenamiento, los resultados de índice de peróxido fueron no cuantificables en todos los tratamientos, ya que los valores obtenidos están por debajo de 0.2 meq/kg, según el método aplicado.

La ausencia de valores en los primeros 120 días, no permitió la aplicación del diseño experimental, por lo tanto, no se logró determinar estadísticamente el efecto de los tratamientos sobre la variable rancidez oxidativa. Sin embargo, a los 150 días se detectaron los primeros valores de IP los cuales fueron de 1.2 (T1), 1.6 (T2) y 1.7 (T3) meq/kg, y de 1.8 (T1), 2.2 (T2) y 1.9 (T3) meq/kg a los 180 días (Cuadro 2).

Cuadro 2. Valores IP obtenidos en los tratamientos de mantequilla de semilla de marañón durante 180 días de almacenamiento.

Días de almacenado	Resultados de Índice de Peróxido (meq/kg)		
	T1: Sin Antioxidante	T2 : Tocoferoles (25 mg/kg)	T3: Lecitina de Soya (10 g/kg)
30	<0.2	<0.2	<0.2
60	<0.2	<0.2	<0.2
90	<0.2	<0.2	<0.2
120	<0.2	<0.2	<0.2
150	1.2	1.6	1.7
180	1.8	2.2	1.9

Se observó un incremento de valores de IP de los 150 a los 180 días en todos los tratamientos (Cuadro 3). Tomando en cuenta las variaciones en este intervalo de tiempo, el tratamiento con mayor estabilidad oxidativa fue el T3, por presentar menor incremento de IP con una variación de 0.2 meq/kg; en contraste con el T1 y T2, los cuales mostraron variaciones de 0.6 meq/kg. Por lo tanto, se puede decir, por la variación similar entre T1 y T2 que la adición de tocoferoles no tuvo efectos en el retardo oxidativo de los ácidos grasos de la mantequilla, esto se puede deber a

que la dosis establecida en el RTCA para aditivos alimentarios (2012) es para tocoferoles sintéticos (E307) y no para ingredientes naturales tal como se utilizó en la investigación. Otro factor que podría explicar el efecto de los tocoferoles en la estabilidad oxidativa, puede ser la incorporación de forma aislada a la mantequilla, ya que Laboratorios Vitafor (s.f.), menciona que este tipo de aditivos antioxidantes presenta mayor efectividad de manera sinérgica en combinación con otros tipos de antioxidantes naturales.

Cuadro 3. Variación de valores de IP en los tratamientos de mantequilla de semilla de marañón de los 150 a los 180 días.

Días de almacenado	Resultados de Índice de Peróxido (meq/kg)		
	T1: Sin Antioxidante	T2 : Tocoferoles (25 mg/kg)	T3: Lecitina de Soya (10 g/kg)
150	1.2	1.6	1.7
180	1.8	2.2	1.9
Variación	0.6	0.6	0.2

Por otra parte, la Norma Para Grasas y Aceites Comestibles no Regulados por Normas Individuales del Codex Alimentarius (2015), establece hasta 10 meq/kg de IP como límite para la comercialización de alimentos; por lo que se pudo determinar que los valores de IP obtenidos en la mantequilla de semilla de marañón en los tres tratamientos (Cuadro 2), se mantuvo por debajo del límite permisible durante los 180 días de estudio, lo cual demuestra su estabilidad oxidativa. Estos resultados difieren con la evaluación de Lima y Duarte (2000), citado por Álvarez (2008), quienes reportan una vida de anaquel en pasta untada de semilla de marañón sin la adición de antioxidantes de 60 días presentando el producto, en este tiempo la formación de una capa superficial de aceite, reducción de la textura y decoloración del alimento.

Gills y Resurrección (2000), mencionan que la separación del aceite influye directamente en la estabilidad y vida útil de la mantequilla de maní, ya que la exposición del aceite libre a temperaturas elevadas, humedad, luz y aire produce la rancidez; por tanto, Millán (2007), recomienda el uso de aceites vegetales hidrogenados como estabilizantes y aditivos antioxidantes para retardar el efecto oxidativo. Durante el estudio se observó una ligera separación del aceite utilizado como texturizante en la mantequilla en los tres tratamientos a partir de los 150 días de almacenamiento, siendo un factor que afectó la calidad y vida de anaquel, además en este mismo tiempo se detectaron los primeros valores de

IP en los tratamientos (Cuadro 2).

Así mismo, la mantequilla de semilla de marañón con un contenido de grasa de 45.5% (Cuadro 4), se puede comparar con los resultados obtenidos por Solís (2003) en mantequilla de semilla de maní sin adición de antioxidantes y con un contenido similar en grasa de 46.2%. A los 32 días de almacenamiento, la mantequilla de maní evaluada por Solís (2003), presentaba un IP de 1.27 meq/kg; cuestión que en la mantequilla de semilla de marañón no se presentó, durante el intervalo de tiempo más cercano, 30 días (Cuadro 2). De igual manera, Lima *et al.* (2011), menciona que una mantequilla de maní puede alcanzar un índice de peróxido de 5.6 meq/Kg a los 90 días, valores que no se presentaron durante el estudio en ninguno de los tratamientos evaluados (Cuadro 2).

La estabilidad oxidativa que presentó la mantequilla de semilla de marañón en todos los tratamientos, también se puede atribuir a la actividad de agua (a_w). El valor obtenido del análisis de a_w fue de 0.315 (Cuadro 4), el cual se encuentra entre los rangos de 0.2 - 0.4 mencionados por Millán (2007), como mínimo valor para la oxidación de los lípidos en alimentos. Dicho autor obtuvo un valor de a_w de 0.364 en mantequilla de almendra de nuez de nogal y relacionó este dato con el bajo valor en la razón de oxidación, medido a través del IP, el cual fue de 1.1 meq/kg a los 49 días para el tratamiento evaluado con ácido ascórbico como antioxidante y de 2.1 meq/kg en el tratamiento sin antioxidante.

Cuadro 4. Valor de contenido de grasa y actividad de agua (a_w) en mantequilla de semilla de marañón en tratamiento sin antioxidantes a los 150 días de almacenamiento.

Indicado evaluado.	Valor obtenido.	Días de toma de medición
Valor de grasa	45.5%	150 al tratamiento sin antioxidantes.
Actividad de agua(a_w)	0.315	150 al tratamiento sin antioxidantes

Evaluación sensorial: análisis exploratorio

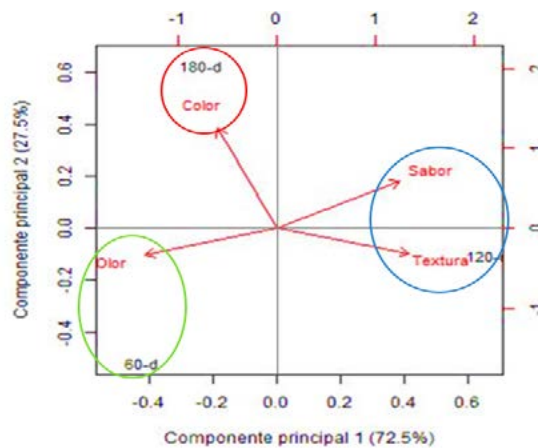
Análisis por componentes principales (ACP)

El análisis de componentes principales explicó el 100% de la variación, representando el componente 1

(eje X) el 72.50% de la variación, y el componente 2 (eje Y) 27.50%. La variación mostrada en el componente 1 fue explicada por los atributos: color, sabor y textura, y en el componente 2 por el atributo olor, para los tres momentos en que se realizaron los análisis sensoriales (60, 120 y 180 días). Según los panelistas

los atributos mejor evaluados en el CP1 fueron la textura, sabor y olor con autovalores de 0.57, 0.53 y -0.57, respectivamente, es decir, que a medida que el valor de la textura y el sabor aumenta, el valor del olor disminuye debido al efecto espejo. Mientras que en el CP2 según los panelistas, el atributo mejor evaluado fue color con un autovalor igual a 0.86.

En cuanto a la relación entre atributos y panelistas, el grupo que evaluó la mantequilla de semilla de marañón a los 60 días, percibió con mayor agrado el atributo olor, mientras que a los 120 días los atributos sabor y textura, y finalmente a los 180 días les fue más agradable el atributo color (Figura 2).



Atributo	CP1	CP2
Color	-0.26	0.86
Olor	-0.57	-0.23
Sabor	0.53	0.40
Textura	0.57	-0.22
Panelistas	CP1	CP2
120 d	1.94	-0.19
180 d	-0.70	1.13
60 d	-1.24	-0.94

Figura 2. Representación gráfica del ACP y auto-vectores para atributos y panelistas, obtenidos a partir de las evaluaciones sensoriales.

Resultados del análisis sensorial

En el Cuadro 5 se presenta el resumen de los efectos de significancia de los atributos evaluados de la mantequilla de semilla de marañón, los cuales a partir del cuadro de valores de probabilidad se encontró que para el factor tiempo los atributos color ($p=0.00515$) y textura ($p=0.00234$), mostraron

diferencias significativas, debido a que sus p-valores son menores al nivel de probabilidad establecido en la investigación, igual a 0.05. Mientras que para el factor tratamientos, ninguno de los atributos presentó diferencias significativas, debido a que sus p-valores son mayores al nivel de probabilidad establecido en la investigación.

Cuadro 5. Resumen de p-valores para los efectos tratamientos y tiempo.

Atributo	Tratamientos (p-valor)	Tiempo (p-valor)
Color	0.67670	0.00515
Olor	0.64680	0.33156
Sabor	0.41948	0.71455
Textura	0.48562	0.00234

Medias y códigos de diferencias significativa entre atributos y tiempo

Estadísticamente en los tres tiempos en donde se realizó la evaluación sensorial, los atributos color y textura, mostraron diferencias significativas, esto de

acuerdo a la ponderación de las medias (Cuadro 6). Es decir que los panelistas que evaluaron el color a los 60 y 120 días percibieron menor aceptabilidad, en contraste a los catadores que percibieron con mayor agrado dicho atributo a los 180 días. Lo mismo pasó con el atributo textura, el cual fue percibido con

menor agrado en las evaluaciones desarrolladas a los 60 y 180 días y con mayor agrado a los 120 días. En el caso de los atributos olor y sabor presentaron iguales

efectos para los tres tiempos de evaluación sensorial (Cuadro 6).

Cuadro 6. Resumen de medias y códigos de diferencias significativas entre los atributos y tiempo.

Atributos	Tiempo					
	60 días		120 días		180 días	
	Media	Sig.	Media	Sig.	Media	Sig.
Color	7.43	B	7.35	B	8.19	A
Olor	7.57	A	7.14	A	7.4	A
Sabor	7.25	A	7.52	A	7.4	A
Textura	6.67	B	7.73	A	6.58	B

Medias y códigos de diferencias significativa entre atributo y tratamiento

Estadísticamente los tratamientos en estudio presentaron iguales efectos sobre los atributos color, olor, sabor y textura, por lo que se califican con la misma letra (A). Es decir, los panelistas no detectaron ninguna diferencia en los atributos evaluados sensorialmente, calificándolos entre

“ligeramente agradable” y “agradable”; esto según las medias obtenidas entre 6.74 y 7.68 (Cuadro 7). Esto es positivo, ya que según Padilla y Duran (2000), uno de los criterios importantes a la hora de elegir antioxidantes naturales, debe ser que estos no cambien las características organolépticas del alimento donde se incorporan en cuanto a color, olor, sabor y textura.

Cuadro 7. Resumen de medias y códigos de diferencias significativas entre los tratamientos y los atributos sensoriales evaluados por los panelista.

Atributos	Tratamientos					
	T1: Sin Antioxidante		T2 : Tocoferoles(25 mg/kg)		T3: Lecitina de Soya (10 g/kg)	
	Media	Sig.	Media	Sig.	Media	Sig.
Color	7.69	A	7.66	A	7.52	A
Olor	7.51	A	7.37	A	7.24	A
Sabor	7.42	A	7.59	A	7.17	A
Textura	7.08	A	6.74	A	7.15	A

Análisis confirmatorio por atributo

Atributo color

Según el análisis de varianza el factor tiempo, está produciendo efectos significativos sobre el atributo color con una probabilidad igual a 0.05 (Cuadro 8); es decir, el color de la mantequilla de semilla de marañón varía de acuerdo al tiempo, según la

apreciación de los panelista (Cuadro 8). Al aplicar la prueba de Diferencia Mínima Significativa (LSD Fisher), se determinó que el efecto significativo, está siendo generado en la evaluación de los panelistas a los 180 días, la cual corresponde a la media mayor (8.20) obtenida en las tres evaluaciones desarrolladas (Cuadro 9). Así, el color fue mejor evaluado por el grupo de panelistas a los 180 días en comparación a los 60 y 120 días.

Cuadro 8. Análisis de varianza para la variable color.

Cuadro de Análisis de la varianza (SC tipo III)					
FV	SC	GL	CM	F	p-valor
Modelo	42.16	4	10.54	2.88	0.0231
Tiempo	39.30	2	19.65	5.37	0.0052
Tratamiento	2.89	2	1.43	0.39	0.6767
Error	968.96	265	3.66		
Total	1011.13	269			

Cuadro 9. Prueba de Diferencia Mínima Significativa (LSD Fisher) para el tiempo y la variable color.

Test: LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=0.56126				
Error: 3.6565 gl:265				
Tiempo	Medias	n	E.E	
120-d	7.35	90	0.20	A
60-d	7.43	90	0.20	A
180-d	8.20	90	0.20	B

Atributo textura

Según el análisis de varianza el factor tiempo, está produciendo efectos significativos sobre el atributo textura con una probabilidad igual a 0.05 (Cuadro 10), determinando que la textura de la mantequilla de semilla de marañón varía de acuerdo al tiempo, según la apreciación de los panelistas que realizaron las evaluaciones sensoriales. Al aplicar la prueba de Diferencia Mínima Significativa (LSD Fisher), se determinó que el efecto significativo, está siendo generado en la evaluación de los panelistas a los 120 días; la cual corresponde a la media mayor (7.73) obtenida en las tres evaluaciones desarrolladas (Cuadro 11). Así, la textura de la mantequilla fue mejor evaluada por el grupo de panelistas a los 120 días en comparación a los 60 y 180 días, donde la media disminuyó.

Cuadro 10. Análisis de varianza para la variable textura.

Cuadro de Análisis de la varianza (SC tipo III)					
FV	SC	GL	CM	F	p-valor
Modelo	82.25	4	20.56	3.46	0.0089
Tiempo	73.64	2	36.82	6.20	0.0023
Tratamiento	8.60	2	4.30	0.72	0.4856
Error	1574.10	265	5.94		
Total	1656.35	269			

Cuadro 11. Prueba de Diferencia Mínima Significativa (LSD Fisher) para el tiempo en la variable textura.

Test: LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=0.71536				
Error: 5.9400 gl:265				
Tiempo	Medias	N	E.E	
180-d	6.58	90	0.26	A
60-d	6.67	90	0.26	A
120-d	7.73	90	0.26	B

McNeill *et al.* (2002), menciona que la textura es de las propiedades sensoriales de los alimentos que juega un papel importante en el atractivo del consumidor y es el atributo más dominante de las preferencias de los consumidores para muchos alimentos manufacturados. En la investigación se identificó que el nivel de aceptación de la textura disminuyó a los 180 días, esto probablemente se deba a la separación del aceite en la mantequilla de semilla de marañón a partir de los 150 días.

Atributo sabor y olor

Según el análisis de varianzas (Cuadro 12 y 13) el factor tiempo y los tratamientos en estudio están produciendo iguales efectos sobre el atributo olor y sabor, con una probabilidad igual a 0.05. Es decir, los tratamientos y el tiempo no tuvieron ningún efecto en la aceptabilidad de los panelistas sobre el atributo olor y sabor.

Cuadro 12. Análisis de varianza para la variable sabor.

Cuadro de Análisis de la varianza (SC tipo III)					
F.V	SC	GL	CM	F	p-valor
Modelo	11.46	4	2.86	0.60	0.6600
Tiempo	3.19	2	1.60	0.34	0.7145
Tratamiento	8.26	2	4.13	0.87	0.4195
Error	1256.43	265	4.74		
Total	1267.89	269			

Cuadro 13. Análisis de varianza para la variable olor.

Cuadro de Análisis de la varianza (SC tipo III)					
F.V	SC	GL	CM	F	p-valor
Modelo	11.53	4	2.88	0.77	0.5439
Tiempo	8.27	2	4.14	1.11	0.3316
Tratamiento	3.26	2	1.63	0.44	0.6468
Error	988.59	265	3.73		
Total	1000.11	269			

Delgado (2014) y Gallinger (2015), afirman que la oxidación altera las características organolépticas por la generación de sabores y olores desagradables por el

desarrollo de sustancias volátiles (aldehídos, cetonas e hidrocarburos) generadas por el deterioro oxidativo que reduce la aceptabilidad del consumidor. Sin embargo, en la mantequilla de semilla de marañón, los panelista no percibieron alteración en los atributos evaluados; por tanto, la mantequilla de semilla de marañón mantuvo su nivel de aceptabilidad para los panelistas durante 180 días.

Análisis microbiológico

Las muestras analizadas de los tres tratamientos presentaron ausencia de *Salmonella* spp. en 25 gramos, es decir cumplen con el límite permisible establecido por RTCA de Criterio Microbiológicos (2009) para mantequilla de maní y otras nueces (Cuadro 14). Los resultados obtenidos en parte se deben, a la baja actividad de agua obtenida en la mantequilla de 0.315 que según Constanza *et al.* (2017), evita el deterioro microbiológico. Así mismo, comprueba lo afirmado por Lima y Duarte (2006) que en actividades de agua por debajo de 0.6, el crecimiento microbiano es nulo.

Cuadro 14. Resultados de detección de *Salmonella* spp. en la mantequilla de semilla de marañón.

Resultados de detección de <i>Salmonella</i> spp.			
Tiempo	T1: sin antioxidante	T2: Tocoferoles (25 mg/kg)	T3: Lecitina de Soya (10 g/kg)
15 días almacenado	Ausencia en 25 g	Ausencia en 25 g	Ausencia en 25 g
180 días almacenado	Ausencia en 25 g	Ausencia en 25 g	Ausencia en 25 g

Costo por tratamiento

La determinación de costos por tratamiento, se determinó a través de los costos variables a partir de la producción de 8 libras de mantequilla de semilla de marañón. A los tratamientos que incluyen la adición de antioxidantes naturales se les sumó el costo de la cantidad requerida del antioxidante correspondiente. El costo variable para la producción de la mantequilla de semilla de marañón sin la adición de antioxidantes fue de USD\$2.61 por envase de 225 gramos; comparando este resultado con los costos variables que involucra la utilización de antioxidantes, se observó un aumento en los costos debido a que este es un ingrediente adicional en la

formulación (Cuadro 15).

El uso de los antioxidantes naturales: tocoferoles y lecitina de soya, elevan los costos de la mantequilla en un 3.00%, siendo este un factor a considerar al momento de realizar la formulación. Pero se debe tomar en cuenta que la mantequilla de semilla de marañón es un producto con alto contenido de ácidos grasos de los cuales el 81.50% son ácidos grasos insaturados (Álvarez 2008), por ello necesita la adición de antioxidantes para evitar la rancidez oxidativa, siendo un factor a considerar a la hora de elaborar este tipo de alimentos.

Cuadro 15. Costos variables por tratamiento de mantequilla de semilla de marañón.

Insumos	Unidad	Costo Unitario (\$)	Cantidad (8.0 lb)	Tratamientos		
				Sin antioxidante	Tocoferoles (25mg/kg)	Lecitina de soya (10g/kg)
Semilla de marañón quebrada	libras	4.00	7.00	28.00	28.00	28.00
Dulce de panela molida	libras	2.72	0.81	2.20	2.20	2.20
Aceite de oliva	libras	1.42	0.32	0.45	0.45	0.45
Tocoferoles	gramos	1.17	0.90	-	1.05	-
Lecitina de soya	gramos	0.02	36.00	-	-	0.72
Envases	unidad	0.70	16	11.20	11.20	11.20
Total costos/16 envases con 225 g				41.85	42.90	42.57
Total costos/envase con 225 g				2.61	2.68	2.66

CONCLUSIONES

La mantequilla de semilla de marañón, mantuvo su estabilidad oxidativa durante todo el estudio, ya que los valores de IP obtenidos a los 150 y 180 días están por debajo del límite permisible (hasta 10.0 mq/kg) según la Norma para grasas y aceites comestibles del Codex Alimentarius.

La estabilidad oxidativa, no determinó la vida de anaquel de la mantequilla de semilla de marañón, debido que a los 150 días de almacenamiento se presentó una separación del aceite utilizado como texturizante en los tratamientos, siendo un factor a tomar en cuenta en la calidad y vida de estante del alimento.

Los tratamientos no afectaron los atributos sensoriales: color, olor sabor y textura; los niveles de aceptación de los panelistas se mantuvieron entre valores de 6 a 8, considerados como “ligeramente agradable” y “agradable”.

El tiempo influye significativamente en los atributos: color y textura, siendo el color mejor evaluado; mientras que la textura disminuyó su nivel de agrado a los 180 días de almacenamiento. Por lo tanto, los atributos más representativos de la calidad sensorial para este tipo de alimento son: la textura y color.

El tratamiento que presentó menor costo fue T1: sin antioxidante (USD\$ 2.61) y los de mayor costo fueron T2: Tocoferoles (USD\$ 2.68) y T3: lecitina de soya

(USD\$ 2.66) por unidad de 225 gramos.

La mantequilla de semilla de marañón es un producto seguro microbiológicamente, ya que presentó ausencia de *Salmonella* spp. en los análisis realizados a muestras de los tres tratamientos a los 15 y 180 días.

El valor de actividad de agua (0.315), obtenido en la mantequilla de semilla de marañón, evitó la proliferación microbiana e influyó en la estabilidad oxidativa al encontrarse entre los valores mínimos (0.2 - 0.4), para el desarrollo de las reacciones de oxidación de lípidos.

BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez, MA. 2008. Desarrollo de una pasta untable a base de nueces de marañón (*Anacardium occidentale* L.) con antioxidantes BHA y TBHQ. Tesis Ing. Honduras. Zamorano. 82 p.
- Álvarez AC. 2017. Intervención en las Condiciones Ergonómicas para el Proceso de Producción de Semilla de Marañón, Prototipo Semi-Automatizado de Descortezadora. Santa Tecla. El Salvador. ITCA-FEPADE. 26 p.
- American Public Health Association. 2001.** Compendium of methods for the microbiological Examination of Foods. Washington DC, United State. Chapter 64.
- Armenteros, M; Ventanas, S; Morcuende, D. 2012.** Empleo de antioxidantes naturales en productos cárnicos. Extramaduro, España. 11 p.

- Badui, S. 2006.** Química de los alimentos. Cuarta Edición. Distrito federal, México. PEARSON EDUCACION. 732 p.
- Constanza, U; Reyes, J; Hernández, I. 2017.** Elaboración de tres formulaciones de mantequilla usando como base la almendra de marañón orgánico (*Anacardium occidentale* L) en APRAINORES, San Carlos Lempa, municipio de Tecoluca, departamento de San Vicente. Tesis Ing. San Vicente. Universidad de El Salvador. 81 p.
- Cortés, MJ. s.f.** Aditivos antioxidantes. (en línea). Consultado 2 de jul. 2019. Distrito Federal, MX. Disponible en: <https://biosalud.org/archivos/divisiones/4aditivos%20antioxidantes.pdf>
- Codex Alimentarius, 2015.** Norma para grasas y aceites comestibles no regulados por normas individuales (en línea). Codex Stan 19-1981. Disponible en: <http://www.codexalimentarius.org/normas-oficiales/es/>
- Delgado, A. 2014.** Por qué se enrancian las grasas y aceites. (en línea). Consultado 14 mar. 2018. Disponible en: <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/990>
- Flores, M. 2011.** Algunos de los aditivos más perjudiciales (en línea). Consultado 28 set. 2018. Disponible en: <https://aimedicinacuantica.files.wordpress.com/2016/04/aditivos-mas-perjudiciales.pdf>
- Gallinger, C. 2015.** Estabilidad oxidativa y calidad sensorial de carne de pollo enriquecida con ácidos grasos n-3 proveniente de fuentes de origen vegetal y animal, protegido con vitamina E y selenio orgánico. Tesis Doctorado. Valencia, España. 309 p.
- Gills, LA; Resurreccion, AV. 2000.** "Propiedades sensoriales y físicas de la mantequilla de maní tratada con aceite de palma y aceite vegetal hidrogenado para evitar la separación del aceite". *J.Food Sci.* 65, Nr 1. 173-180
- Guzmán, K. 2015.** Opciones de escalamiento para los productos de marañón orgánico de El Salvador en la cadena global. San Salvador, El Salvador. EISSN. 25 p.
- Lima, J; Garruti, D; Bruno, L. 2011.** Características fisicoquímicas, microbiológicas y sensoriales de la mantequilla de anacardo elaborada a partir de diferentes calidades de grano. Tesis Ing. Santiago, Chile. Universidad de Chile. 122 p.
- Lima, J; Duarte, E. 2006.** Pasta de Anacardos con Incorporación de Sabores (en línea). Consultado 12 abr. 2018. Tesis Ing. Brasilia, Brasil. Instituto de Educación Tecnológica. Disponible. 72 p.
- MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería, El Salvador). 2017.** Anuario de estadísticas agropecuarias 2016-2017. Santa Tecla. 87 p.
- Martínez, A. 2006.** El Salvador: La cadena global de marañón. San Salvador. El Salvador. FUNDE. 20 p.
- Medina, G. s.f.** Aceites y grasas comestibles (en línea). Revista de la facultad de química farmacéutica. Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia. Consultado 16 jul. 2019. Disponible en: <https://aprendeenlinea.udea.edu.co/revistas/index.php/vitae/article/download/.../11743>
- Millán, AC. 2007.** Desarrollo de Mantequilla de nuez (*Juglans regia* L.), variedad semilla california. Ingeniero en alimentos. Santiago, Chile. Universidad de Chile. 77 p.
- Montenegro, M. y Obando, R. 2015.** Extracción y caracterización de aceite de la nuez de marañón (*Anacardium Occidentale* L.). Tesis Ing. Managua. Nicaragua. Universidad centroamericana. 46 p.
- Moromisato, JP. 2015.** Eficacia antioxidante de los compuesto fenólicos de la Mashua (*Tropaeolum tuberosum*) en la estabilidad del aceite de linaza (*Linum usitatissimum* L.). Tesis Ing. Lima, Perú. Universidad Nacional Agraria. 110 p.
- McNeill, K; Sanders, T; Cville, G. 2002.** Análisis descriptivo de mantequillas de maní cremosas disponibles comercialmente. *J. Sens. Studies* 17, 391-414.
- Mundo Alimentario. 2010.** Aditivos Antioxidante (en línea). Consultado 16 abr. 2018. Disponible en: <http://bibliotecavirtual.corpmontana.com/bitstream/handle/123456789/3787/M000441.pdf?sequence=5&isAllowed=y>
- Padilla, B. y Duran, R. 2000.** Actividad antioxidante

de las vitaminas C y E y de la provitamina A. Sevilla, España. CSIC. 5 p.

Rojano, B. 2000. Oxidación de Lípidos y Antioxidantes. Medellín, Colombia. Universidad Nacional de Colombia. 59 p.

RTCA (Reglamento Técnico Centroamericano). 2012. Alimentos y Bebidas Procesadas. Aditivos Alimentarios. 410 p.

RTCA (Reglamento Técnico Centroamericano). 2009. Alimentos. Criterios Microbiológicos para la Inocuidad de Alimentos. 36 p.

Solís, AM. 2003. Elaboración de mantequilla de maní (*Arachis hypogaea*) variedad virginia con adición parcial de manteca de palma. Tesis Ing. Tingo maria, Perú. Universidad Agraria de La Selva. 100 p.

Vitafor. s. f. Antioxidantes. (en línea). Consultado 26 jul. 2019. Disponible en: http://www.dirico.com.ec/archivos/Presentacion_Antioxidantes.pdf

Wallace, H; Andrews, W; Andrew J; Hammack, T. 2007. Bacteriological Analytical Manual: *Salmonella*. Washington DC, United State. Chapter 5.



<https://revistaagrocienza.wordpress.com/>

Artículo de investigación

Evaluación de cuatro dosis de poliacrilato de potasio en el desarrollo de la planta de café (*Coffea arabica* L) y en la conservación de humedad disponible para la planta en el suelo

Evaluation of four doses of potassium polyacrylate in the development of the coffee crop (*Coffea arabica* L) and in the conservation of available moisture for the plant in the soil

Solís-López, FG¹; Méndez-Pérez, JC¹; Huevo-Lemus, YC¹; Rodríguez-Urrutia, EA²; Solano-Melara, NS³

RESUMEN

La investigación se realizó de octubre 2018 a abril 2019 en el laboratorio de Química Agrícola y el vivero de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador. Se evaluaron cuatro dosis de poliacrilato de potasio en el desarrollo del cultivo de café (*Coffea arabica* L.) y en la conservación de humedad en el suelo disponible para las plantas. El estudio se realizó bajo el diseño de cuatro bloques al azar; una unidad experimental de cuatro plantas, con cuatro tratamientos: T1 (5 g), T2 (7 g), T3 (10 g) y T0 (testigo), haciendo un total de 64 plantas. Se tomaron datos como altura de la planta, número y largo de bandolas, volumen y longitud de la raíz principal, días a marchitez de la planta, análisis químico en suelo, planta y del Poliacrilato de Potasio. Para el análisis de los datos se utilizó estadística descriptiva (gráficos y tablas) y la prueba de Tukey, con el programa InfoStats. Para el análisis económico, se realizó un presupuesto de los costos por la aplicación del producto. Se registraron los días sin riego a las plantas de café, obteniendo la mejor media en el tratamiento 3 con un promedio de 126.25 días; al realizar la prueba estadística de Tukey, se obtuvo que los tratamientos 3 (10 g), 2 (7 g) y 1 (5 g) en los cuales se utilizó el Poliacrilato de potasio presentaron los mejores resultados ($p > 0.05$). Se encontró un efecto significativo en las variables altura de la planta y volumen de raíz ($p > 0.05$), en el cual el tratamiento 3 presentó los mejores resultados con una ganancia de altura media de 23.5 cm y un volumen de raíz de 14 cc.

Palabras claves: poliacrilato de potasio, café, *Coffea arabica*, agua, sequía, marchitez, hidrogel.

- 1 Departamento de Desarrollo Rural, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador.
- 2 Docente Director, Departamento de Desarrollo Rural, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador.
- 3 Docente Director, Departamento de Química Agrícola, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador.

ABSTRACT

The research was conducted from October 2018 to April 2019, at the nursery of the Faculty of Agronomic Sciences of the University of El Salvador, and in the Agricultural Chemistry laboratory. Four doses of Potassium Polyacrylate were evaluated in the development of coffee cultivation (*Coffea arabica* L.) and in the conservation of soil moisture available to plants. The study was carried out under the design of Random Blocks, there were four blocks; an experimental unit of four plants, with four treatments: T1 (5 g), T2 (7 g), T3 (10 g) and T0 (control) making a total of 64 plants. Data were taken such as plant height, number and length of sides, volume and length of the main root, days to wilt of the plant, chemical analysis in soil, plant and Potassium Polyacrylate. For the data analysis, descriptive statistics (graphs and tables) and the Tukey test were used. The InfoStats program was used. For the economic analysis a budget of the costs for the application of the product was made. The days without irrigation were registered to the coffee plants obtaining the best average treatment 3 with an average of 126.25 days; When performing the Tukey statistical test, it was obtained that treatments 3 (10 g), 2 (7 g) and 1 (5 g) in which potassium polyacrylate was used had the best results ($p > 0.05$). A significant effect was found in the variables: plant height and root volume ($p > 0.05$), in which treatment 3 presented the best results with an average height gain of 23.5 cm and a root volume of 14 cc.

Keywords: potassium polyacrylate, coffee, *Coffea arabica*, water, drought, wilt, hydrogel.

INTRODUCCIÓN

La producción de alimentos y el uso del agua están relacionados de forma inseparable. El agua siempre ha sido el principal factor que limita la producción agrícola en gran parte del mundo, donde la precipitación pluvial no es suficiente para satisfacer la demanda de los cultivos. Con la competencia cada vez mayor por recursos hídricos no renovables en todo el mundo y la creciente demanda de productos agrícolas, nunca antes ha sido tan apremiante la necesidad de mejorar la eficiencia y uso del agua para la producción de cultivos, a fin de garantizar la seguridad alimentaria en el futuro y enfrentar las incertidumbres asociadas con el cambio climático (FAO 2012).

La FAO (2016), menciona que el cambio climático se expresa en diversas transformaciones de variables climáticas que están generando efectos económicos, sociales y ambientales significativos. Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), también conocidos como Objetivos Mundiales, son un llamado universal a la adopción de medidas para poner fin a la pobreza, proteger el planeta y garantizar que todas las personas gocen de paz y prosperidad (Martínez 2015). Con esta investigación se buscó contribuir al cumplimiento de los siguientes Objetivos de Desarrollo Sostenible: Objetivo 6. Agua limpia y saneamiento y Objetivo 13. Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio

climático y sus efectos.

Zúñiga, citado por Zapeta (2012), menciona que en la agricultura de acuerdo a las exigencias actuales, se ha ido innovando en cuanto a productos que ayuden a maximizar la productividad por unidad de área, por lo cual, se puede hacer un mejor uso de los recursos naturales, principalmente el agua. La retención de agua en el suelo puede aumentarse con la incorporación de abonos verdes, materia orgánica o la incorporación de polímeros sintéticos que ayuden en este sentido.

Por ello, la importancia de conocer las nuevas tecnologías como los polímeros sintéticos, los cuales son una cadena polimérica que son paralelos el uno del otro y regularmente entrelazados por agentes reticuladores, esto forma una cadena. Cuando el agua entra en contacto con alguna de estas cadenas, es arrastrada dentro de las moléculas por medio de ósmosis. El agua migra rápidamente al interior de la red del polímero donde se almacena. Conforme la tierra se va secando el polímero libera lentamente hasta el 95% del agua que absorbió (Nolasco 2013).

Con el uso de un polímero retenedor de humedad los requerimientos de agua pueden ser minimizados debido a la reducción de las pérdidas por percolación o evaporación. El intervalo entre riegos puede ser duplicado, triplicado o más. Adicionalmente, la reserva extra de agua en el suelo previene a las plantas

de estrés hídrico. Esto es especialmente importante en áreas o épocas con bajas precipitaciones (Zapeta 2012).

Estos polímeros presentan muchos beneficios como: logran captar hasta 500 veces su peso el agua de lluvia, reducen el estrés hídrico de la planta hasta por 28 días o más, es un producto reversible que se carga de nuevo cada vez que el suelo recibe agua, reduce hasta en 50% el uso de agua, aumenta de 10% a 30% el rendimiento del cultivo y de nutrimentos de 40% a 60% en función de la especie, posee una vida útil entre 5 a 7 años, no es tóxico, no tiene efecto sobre las propiedades físicas del agua, ni en la porosidad del suelo (NutriFértil (s.f)).

En consecuencia, por la mejor retención de agua las pérdidas por escurrimiento son reducidas, menos cantidad de agua es requerida y se logra el óptimo crecimiento de la planta. Todo ello permite una reducción tanto en cantidad como en frecuencia de riego. Otro beneficio en la utilización del polímero es el mejoramiento de la estructura del suelo, ya que el polímero absorbe y libera agua, entonces se expande y luego se contrae. Este movimiento físico ayuda a mantener una estructura abierta, la cual mantiene buena ventilación del suelo y promueve un vigoroso crecimiento de raíz (Gonzales 2014).

Por ello la importancia de ésta investigación, ya que actualmente en El Salvador no se tiene suficiente información sobre el uso del poliacrilato de potasio en el cultivo de café (*Coffea arabica* L), ni en otros cultivos que se producen en el país, por eso se evaluó el comportamiento de cuatro dosis de poliacrilato de potasio en el desarrollo del cultivo de café (*Coffea arabica* L) y en la conservación de humedad en el suelo disponible para las plantas, con esto se buscó conocer la cantidad adecuada de producto a aplicar y disminuir los impactos de la sequía ocasionadas por el cambio climático en la producción agrícola y en la seguridad alimentaria de la población humana.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización

La investigación se realizó en el periodo de octubre 2018 a abril 2019, en el invernadero de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador, ubicado en la Ciudad Universitaria en San Salvador, El Salvador, con coordenadas Latitud N 89°12'01.21" y Longitud W 13°43'08.83", una elevación de 698 metros sobre el nivel del mar, una temperatura media anual de 23°C, una humedad relativa de 72% y una precipitación promedio de 1,801 mm al año.

Metodología de campo

La investigación se realizó bajo un diseño de Bloques Completos al Azar, se establecieron 4 bloques, una unidad experimental de 4 plantas de café, teniendo 16 plantas por tratamiento y un total de 64 plantas. Se utilizaron 3 dosis de poliacrilato de potasio (lluvia sólida): 5 g (T1), 7 g (T2) y 10 g (T3), y un Testigo (T0) el cual no contenía Poliacrilato de potasio, distribuidas en cuatro tratamientos. El poliacrilato de potasio se aplicó al momento del trasplante de las plantas, es decir, al momento de realizar la siembra de las plantas de café en las macetas plásticas (Figura 1).

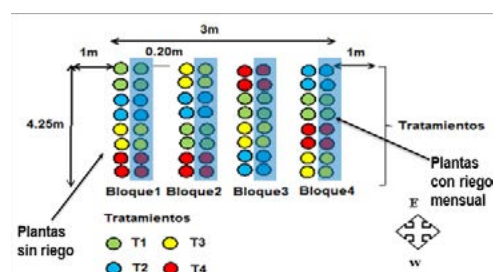


Figura 1. Distribución de los tratamientos en la parcela del ensayo y forma de riego.

Se estableció en un invernadero bajo condiciones controladas, para ello se utilizaron plantas de café de la variedad Cuscatleco listas para trasplantar, como sustrato se utilizó tierra de textura franca. Los recipientes plásticos o macetas se llenaron con tierra hasta una altura de 15 cm, encima se colocaron las plantas de café y luego se aplicaron las diferentes

dosis del poliacrilato de potasio ya hidratado, este se aplicó alrededor del pilón de la planta de café, para luego completar el llenado de los recipientes con tierra hasta el borde superior.

Después de realizar el trasplante de todas las plantas de café, se hizo el traslado y ordenado de los bloques dentro del invernadero, con una separación de 0.10 m entre cada recipiente y una separación entre cada bloque de 0.50 m, se contó con una parcela de 5 m de largo por 5 m de ancho; las macetas fueron previamente identificadas según el tratamiento y el bloque al que pertenecían.

Fertilización y riego

Se realizaron tres aplicaciones de fertilizante granulado al suelo, utilizando fórmula 15-15-15, la primera fertilización se aplicó el día del trasplante con una dosis de 2 onzas (oz) por planta, la segunda se hizo dos meses después de la primera con una dosis de 2 oz por planta, y la tercera fertilización se aplicó dos meses después de la segunda fertilización con dosis de 2 oz por planta, esto se realizó para todos los tratamientos.

El riego se aplicó a las plantas al momento del trasplante para humedecer el suelo hasta saturación y se regaron todas las plantas incluyendo el testigo, posteriormente se realizaron riegos cada mes, pero solo a la mitad de las plantas en todos los tratamientos y el testigo, a las cuales se les tomó datos de las diferentes variables como se muestra en la Figura 1.

Toma de datos en campo

Todos los datos obtenidos durante la investigación se anotaron en una libreta de campo y posteriormente fueron trasladados a cuadros en Excel®. Los datos se tomaron cada 15 días durante seis meses y fueron: altura de la planta, se tomó desde el nivel del suelo hasta la parte apical con una cinta métrica; largo de bandolas, se tomó en el segundo par de bandolas (segunda cruz), de abajo hacia arriba; se contaron el número de bandolas por planta; se midió el diámetro del tallo de cada planta con un pie de rey digital; la

longitud de la raíz principal o pivotante se midió al finalizar la investigación, para ello las plantas de café se sacaron de cada recipiente, se lavaron para quitar la tierra, se dejaron secar y fueron colocadas en una tela roja para medirlas desde la unión con el tallo hasta la punta de la raíz principal; el volumen de las raíces se determinó sumergiendo todas las raíces (raíz principal, raíces secundarias, raíces terciarias y raicillas) en una probeta con un volumen de agua conocido, la diferencia de volúmenes fue el dato que indicó el volumen de la raíz; y para conocer los días a marchitez o cuantos días pueden vivir las plantas de café sin riego, estas se regaron únicamente el día del trasplante, después de ese riego no se le aplicó agua a la mitad de las plantas (32 plantas de 64) de todos los tratamientos y se tomó el dato el día que llegaron a Punto de Marchitez Permanente.

Análisis de laboratorio

Análisis de suelo

Se realizaron 5 análisis de suelo, el primero al inicio de la investigación para todo el suelo que fue utilizado en el llenado de las macetas. Los otros 4 análisis se realizaron al final de la investigación, uno por cada tratamiento, para la muestra se tomaron porciones de suelo de cada uno de los recipientes de cada tratamiento hasta completar 2 libras de suelo. Las muestras fueron analizadas en el laboratorio de Química Agrícola de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador, los elementos que se analizaron fueron: nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, pH y materia orgánica. El aluminio se analizó en el laboratorio del Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal (CENTA).

Análisis Foliar

Se realizaron 5 análisis foliares, el primero al inicio de la investigación para todas las plantas de café que fueron utilizadas. Los otros 4 análisis se realizaron al final de la investigación, uno por cada tratamiento, para la formación de la muestra se tomaron dos plantas que formaron cada tratamiento. Las muestras

fueron analizadas en el laboratorio de Química Agrícola de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador, los elementos que se analizaron fueron: nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio.

Análisis del Poliacrilato de Potasio

Se realizó al inicio de la investigación para conocer la concentración del potasio en el Poliacrilato de Potasio.

Análisis de los datos

La investigación se realizó bajo un diseño de Bloques Completos al Azar, para el análisis de datos se utilizó estadística descriptiva (gráficos y tablas) y la prueba de Tukey. Para analizar los datos se utilizó el programa InfoStat, con una probabilidad de 0.05. Cada tratamiento contó con 4 repeticiones, las cuales estuvieron en los distintos bloques. El número de unidades experimentales por tratamiento fue de 4 plantas de café, teniendo un total de 64 plantas. Para el análisis químico en suelo, se analizó una muestra por tratamiento. Las variables en estudio fueron la variable independiente el uso del poliacrilato de potasio y la variable dependiente la conservación de humedad en el suelo.

Metodología Económica

Para el análisis económico se realizó un presupuesto parcial de costos por la utilización del poliacrilato de potasio, obteniendo los costos unitarios y costos por manzana (7,000m²) con dos densidades de siembra de plantas de café, esto por cada tratamiento al cual se le aplico el poliacrilato de potasio.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Días a marchitez de las plantas

La dosis de poliacrilato de potasio que conservó la humedad en el suelo disponible para las plantas de café por más tiempo fue el T3 con una duración promedio de 126.25 días (4 meses con 6.25 días), esto después de la aplicación del poliacrilato de potasio y

el riego al inicio de la investigación. La segunda dosis que presento los mejores resultados fue el T2 con una duración promedio de 122.50 días; seguido por el T1 con una duración promedio de 120.50 días. El tratamiento que proporcionó el menor promedio de días hasta la marchitez de las plantas fue el T0 con una duración promedio de 94.75 días (3 meses con 4.75 días) (Figura 2).



Figura 2. Promedio de días a marchitez de las plantas de café.

Estadísticamente los tratamientos en estudio obtuvieron diferencias significativas sobre la variable días a marchitez de las plantas (Cuadro 1), con una probabilidad de 0.05, por lo tanto, se continuó con el análisis estadístico.

Cuadro 1. Análisis de varianza para días a marchitez de plantas.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2600.00	6	433.33	10.21	0.0014
Tratamientos	2476.50	3	825.50	19.45	0.0003
Bloques	123.50	3	41.17	0.97	0.4485
Error	382.00	9	42.44		
Total	2982.00	15			

Al realizar la prueba estadística de Tukey (Cuadro 2), se obtuvo que los tratamientos en los cuales se utilizó el poliacrilato de potasio, Tratamiento 3, 2 y 1, presentaron los mejores resultados sobre la variable días a marchitez, y el tratamiento que presentó los menores resultados fue el Tratamiento 0 (Testigo), en el cual no se utilizó el polímero.

Cuadro 2. Prueba de Tukey para la variable días a marchitez.

Tratamientos	Medias	N	E.E.	
3	126.25	4	3.26	A
2	122.50	4	3.26	A
1	120.50	4	3.26	A
4	94.75	4	3.26	B

Altura de las plantas

La dosis de poliacrilato de potasio con la que se obtuvo el mayor incremento de altura de las plantas de café fue el T3 con un incremento de altura promedio de 21.56 cm; seguido por el T2 con 20.56 cm; luego el T1 con un incremento de altura promedio de 20.12 cm. El tratamiento con el que se obtuvo el menor incremento de altura promedio de las plantas fue el T0 con 13.91 cm (Figura 3).



Figura 3. Altura promedio de las plantas de café.

Al realizar el Análisis de varianza (Cuadro 3), estadísticamente los tratamientos en estudio obtuvieron diferentes efectos en la variable altura de la planta, con una probabilidad de 0.05, por lo tanto, se realizó la prueba de Tukey.

Cuadro 3. Análisis de varianza para altura de plantas.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	233.95	6	38.99	5.01	0.0203
Tratamientos	116.41	3	38.80	4.98	0.0308
Bloques	117.54	3	39.18	5.03	0.0301
Error	62.28	8	7.79		
Total	296.23	14			

Al realizar la prueba de Tukey (Cuadro 4),

estadísticamente los tratamientos que presentaron los mejores resultados sobre la variable altura de planta fueron los Tratamientos 3, 2 y 1, en los cuales se utilizó poliacrilato de potasio en diferentes dosis.

Cuadro 4. Prueba de Tukey para altura de las plantas.

Tratamientos	Medias	N	E.E.	
3	21.56	4	1.40	A
2	20.56	4	1.40	A
1	20.13	4	1.40	A B
4	13.92	3	1.61	B

Los resultados obtenidos en ésta investigación son similares a los obtenidos por Zapeta (2015), quien obtuvo los mejores resultados en la altura de las plantas de Rambután (*Nephelium lappaceum* L.) cuando utilizó un hidrorretenedor en dosis de 2 y 3 gramos.

Diámetro del tallo de las plantas

La dosis de poliacrilato de potasio con la que se obtuvo el mayor diámetro del tallo de las plantas de café o mayor grosor fue el T3 con un diámetro promedio de 7.27 mm; seguido por el T2 con 7.09 mm; luego el T1 con un diámetro promedio de 7.05 mm. El tratamiento con el que se obtuvo el menor diámetro promedio de las plantas fue el T0 con un diámetro promedio de 7.01 mm (Figura 4).

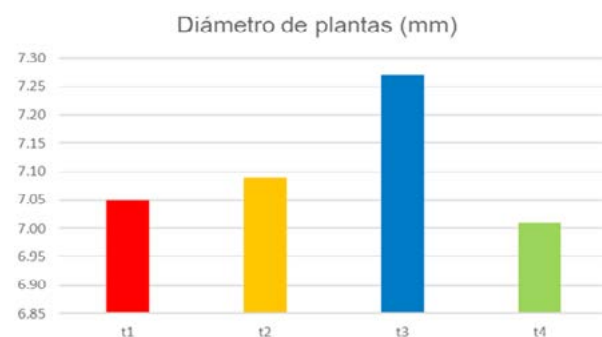


Figura 4. Diámetro promedio del tallo de las plantas de café.

Quando se realizó el análisis de varianza (Cuadro 5), estadísticamente los tratamientos en estudio obtuvieron iguales efectos en la variable diámetro

del tallo de las plantas de café, con una probabilidad de 0.05, ya que las medias obtenidas son similares. Zapeta (2015), observó que las plantas del cultivo de rambután (*Nephelium lappaceum* L.) presentaron diámetros de los tallos similares entre los tratamientos cuando se utilizó el poliacrilato de potasio.

Cuadro 5. Análisis de varianza para el diámetro de los tallos de las plantas.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2.05	6	0.34	1.82	0.2120
Tratamientos	0.15	3	0.05	0.27	0.8448
Bloques	1.90	3	0.63	3.37	0.0752
Error	1.50	8	0.19		
Total	3.55	14			

Longitud de raíz

La dosis de poliacrilato de potasio con la que se obtuvo una longitud mayor de la raíz principal de las plantas de café fue el T1 con una longitud promedio de 38.50 cm; seguido por el T2 con 38.40 cm; luego el T3 con una longitud promedio de 33 cm. El tratamiento con el que se obtuvo una longitud menor de raíz de las plantas fue el T0 con una longitud promedio de 30.60 cm (Figura 5).

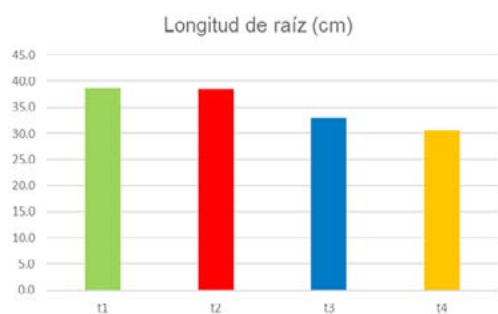


Figura 5. Longitud de la raíz principal promedio en las plantas de café.

Estadísticamente los tratamientos en estudio presentaron diferencias no significativas en la variable longitud de raíz, con una probabilidad de 0.05 (Cuadro 6). Zapeta (2015), evaluó polímeros en plantas de rambután (*Nephelium lappaceum* L.) y no obtuvo resultados significativos en la longitud de la raíz principal.

Cuadro 6. Análisis de varianza para la longitud de la raíz principal.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	227.75	6	37.96	0.84	0.5701
Tratamientos	186.88	3	62.29	1.38	0.3116
Bloques	40.87	3	13.63	0.30	0.8241
Error	407.50	9	45.28		
Total	635.25	15			

Volumen de raíz

El volumen de raíz se tomó al final de la investigación. Las dosis de poliacrilato de potasio con las que se obtuvo el mayor volumen de raíz de las plantas de café fue el T3 y T2, ambas con 14 cc; luego el T1 con un volumen de raíz promedio de 12 cc. El tratamiento con el que se obtuvo el menor volumen de raíz promedio de las plantas fue el T0 con un volumen de raíz promedio de 8 cc (Figura 6).

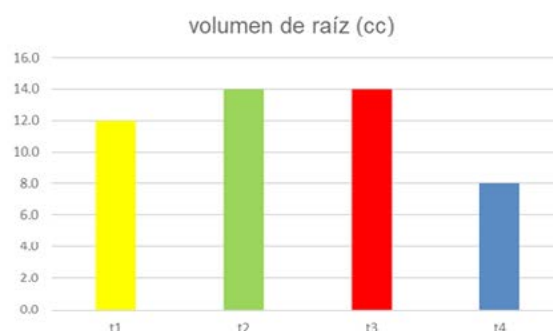


Figura 6. Promedio del volumen de raíz de las plantas de café.

Estadísticamente los tratamientos en estudio produjeron diferentes resultados en la variable volumen de la raíz, con una probabilidad de 0.05 (Cuadro 7), por lo tanto, se realizó el análisis de Tukey (Cuadro 8). Al realizar la prueba de Tukey, estadísticamente se comprobó que el poliacrilato de potasio influye en el volumen de raíz de las plantas de café, porque los tratamientos con el polímero, sin importar las dosis, produjeron mejores efectos que el testigo. Según NutriFértil (s.f.), al obtener un mayor volumen de raíz se aumenta el área radicular, por lo tanto, la planta tiene mayor capacidad de absorción de agua y de nutrientes, mejorando el desarrollo de

toda la planta.

Cuadro 7. Análisis de varianza para volumen de raíces de las plantas de café.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	67.65	6	11.28	8.42	0.0102
Tratamientos	57.69	3	19.23	14.35	0.0038
Bloques	9.96	3	3.32	2.48	0.1586
Error	8.04	6	1.34		
Total	75.69	12			

Cuadro 8. Prueba de Tukey para volumen de raíces de las plantas de café.

Tratamientos	Medias	N	E.E.		
3	14.00	4	1.03	A	
2	14.00	4	1.03	A	
1	12.00	4	1.03	A	B
4	8.00	4	1.03		B

Número de bandolas por planta

La dosis de poliacrilato de potasio con la que se obtuvo el mayor número de bandolas por planta de café fue el T1 y el T2 con un número de bandolas promedio de 12; seguido por el T3 y el T0 con un número de bandolas promedio de 11 (Figura 7).

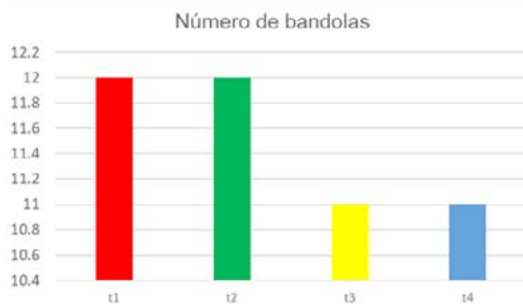


Figura 7. Número de bandolas por planta de café.

Estadísticamente los tratamientos en estudio no presentaron diferencias significativas en la variable número de bandolas, con una probabilidad de 0.05 (Cuadro 9).

Cuadro 9. Análisis de varianza para número de bandolas por planta de café.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	12.59	6	2.10	0.89	0.5420
Tratamientos	5.03	3	1.68	0.71	0.5714
Bloques	7.57	3	2.52	1.07	0.4134
Error	18.81	8	2.35		
Total	31.40	14			

Largo de bandolas

La dosis de poliacrilato de potasio con la que se obtuvo el mayor largo de bandolas de las plantas de café fue el T3, con un largo promedio de 18.94 cm; seguido por el T0, con un largo promedio de 18.83 cm; luego el T2, con un largo promedio de 18.28 cm. El tratamiento con el que se obtuvo el menor largo de bandola promedio fue el T1, con un largo promedio de 16.16 cm (Figura 8).

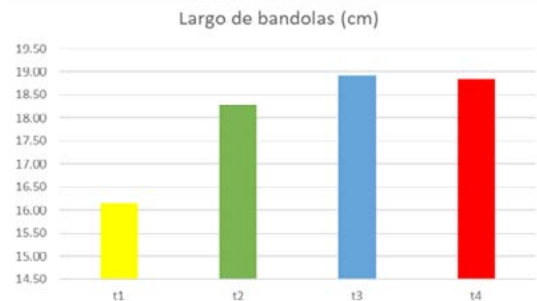


Figura 8. Largo de bandolas de las plantas de café.

Los tratamientos no mostraron diferencias estadísticas con efectos significativos sobre la variable largo de bandolas, con una probabilidad de 0.05 (Cuadro 10). Esto demuestra que el Poliacrilato de potasio, no tiene influencia en el largo de las bandolas de las plantas de café.

Cuadro 10. Análisis de varianza para el largo de bandolas de café.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	57.81	6	9.64	2.69	0.0983
Tratamientos	19.51	3	6.50	1.82	0.2223
Bloques	38.30	3	12.77	3.56	0.0669
Error	28.66	8	3.58		
Total	86.48	14			

Análisis químicos

Contenido de potasio en el poliacrilato de potasio

Al realizar el análisis de laboratorio al poliacrilato de potasio, presentó un contenido de 8.74% de potasio. La casa comercial no presenta un porcentaje exacto del contenido de potasio del producto, solo presenta el porcentaje de la composición del ácido poliacrílico y sal de potasio en un 96% de la mezcla.

Análisis del suelo

Contenido de nitrógeno en el suelo

Según los resultados del análisis de suelo en el laboratorio, el suelo utilizado en la investigación al inicio presentó un contenido de nitrógeno de 0.2335%, y al final de la investigación los resultados fueron: en el T1 el contenido de nitrógeno fue 0.439%; en el T2 el contenido de nitrógeno fue de 0.358%; en el T3 el contenido de nitrógeno fue 0.411%; y en el T0 el contenido de nitrógeno fue 0.395% (Figura 9). Las plantas fueron fertilizadas con fórmula 15-15-15, en dosis de 2 onzas por planta, realizando tres fertilizaciones.

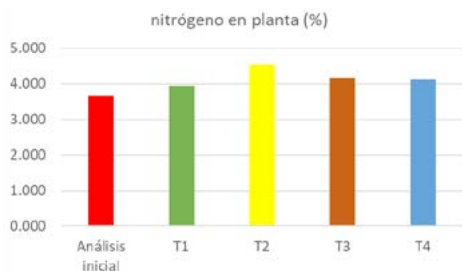


Figura 9. Contenido de Nitrógeno en el suelo.

Contenido de fósforo en el suelo

Según los resultados del análisis de suelo en el laboratorio, el suelo utilizado en la investigación al inicio presentó un contenido de fósforo (P_2O_5) de 0.0755%, y al final de la investigación los resultados fueron: en el T1 el contenido de fósforo fue 0.164%; en el T2 el contenido de fósforo fue de 0.144%; en el T3 el contenido de fósforo fue 0.143%; y en el T0 el contenido de fósforo fue de 0.108% (Figura 10). Los resultados de fósforo obtenidos en el análisis de suelo son altos al compararlos con la tabla de interpretación de análisis de suelo de PROCAFE (2007), la cual muestra un nivel óptimo de fósforo de 20 a 45 ppm (0.002 a 0.0045%).



Figura 10. Contenido de fósforo en el suelo.

Contenido de potasio en el suelo

Según los resultados del análisis de suelo en el laboratorio, el suelo utilizado en la investigación al inicio presentó un contenido de potasio de 0.08%, y al final de la investigación los resultados fueron: en el T1 el contenido de potasio fue 0.11%; en el T2 y en el T3 el contenido de potasio fue de 0.10% en cada uno; y en el T0 el contenido de potasio fue 0.09% (Figura 11). Los resultados de potasio obtenidos en el análisis de suelo son altos al compararlos con la tabla de interpretación de análisis de suelo de PROCAFE (2007), la cual muestra un nivel óptimo de potasio de 200 a 282 ppm (0.02 a 0.0285%).

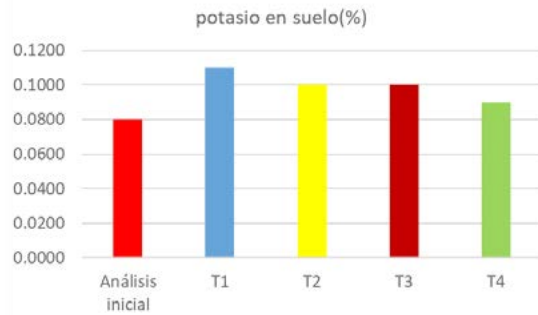


Figura 11. Contenido de potasio en el suelo.

Contenido de calcio en el suelo

Según los resultados del análisis de suelo en el laboratorio, el suelo utilizado en la investigación al inicio presentó un contenido de calcio de 0.330%, y al final de la investigación los resultados fueron: en el T1 el contenido de calcio fue 0.426%; en el T2 el contenido de calcio fue de 0.450%; en el T3 el contenido de calcio fue 0.329%; y en el T0 el contenido de calcio fue 0.325% (Figura 12). Los resultados de calcio obtenidos en el análisis de suelo son altos al compararlos con la tabla de interpretación de análisis de suelo de PROCAFE (2007), la cual muestra un nivel óptimo de calcio de 5 a 11.25 ppm (0.1 a 0.225%).

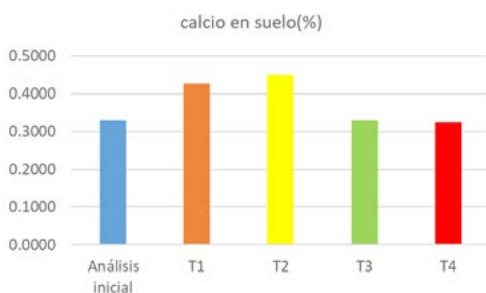


Figura 12. Contenido de calcio en el suelo.

Contenido de magnesio en el suelo

Según los resultados del análisis de suelo en el laboratorio, el suelo utilizado en la investigación al inicio presentó un contenido de magnesio de 0.0400%, y al final de la investigación los resultados fueron: en el T1 el contenido de magnesio fue 0.149%; en el T2 el contenido de magnesio fue de 0.147%; en

el T3 el contenido de magnesio fue 0.226%; y en el T0 el contenido de magnesio fue 0.156% (Figura 13). Los resultados obtenidos en el análisis inicial son bajos, mientras que los resultados de magnesio en el análisis de suelo final son óptimos para todos los tratamientos, al compararlos con la tabla de interpretación de análisis de suelo de PROCAFE (2007), la cual muestra un nivel óptimo de 0.82 a 1.85 ppm (0.1 a 0.225%).

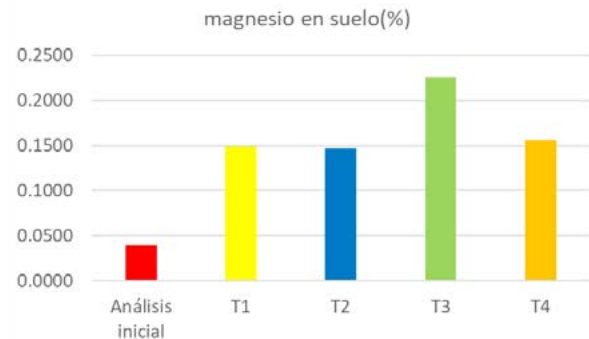


Figura 13. Contenido de magnesio en el suelo.

Contenido de materia orgánica en el suelo

Según los resultados del análisis de suelo en el laboratorio, el suelo utilizado en la investigación al inicio presentó un contenido de materia orgánica de 8.82%, y al final de la investigación los resultados fueron: en el T1 el contenido de materia orgánica fue 7.430%; en el T2 el contenido de materia orgánica fue de 7.069%; en el T3 el contenido de materia orgánica fue 6.914%; y en el T0 el contenido de materia orgánica fue 7.362% (Figura 14). Los resultados de materia orgánica en el análisis de suelo son altos al compararlos con la tabla de interpretación de análisis de suelo de PROCAFE (2007), en la cual se muestra un nivel óptimo de 2.1 a 5.7%.



Figura 14. Contenido de materia orgánica en el suelo.

pH del suelo

Según los resultados del análisis de suelo en el laboratorio, el suelo utilizado en la investigación al inicio presentó un valor de pH de 7.20, y al final de la investigación los resultados fueron: en el T1 el pH fue 4.65; en el T2 el pH fue de 4.52; en el T3 el pH fue 4.13; y en el T0 el pH fue 3.98 (Figura 15). Al finalizar la investigación el suelo de cada tratamiento presentó disminución en el valor de pH con respecto al valor al inicio de la investigación, esto es debido a la aplicación del fertilizante fórmula 15-15-15 en dosis de 2 onzas por planta (PROCAFE 2007). Según CENTA (2016), el pH es una propiedad química del suelo, muy importante especialmente por su carácter orientador del comportamiento de los elementos del suelo, ya que los elementos más importantes para el desarrollo de la planta son asimilables cuando el pH es neutro.



Figura 15. Valor de pH en el suelo.

Acidez intercambiable en el suelo

Según los resultados del análisis de suelo en el laboratorio, el suelo utilizado en la investigación al inicio presentó una acidez intercambiable (H + Al) cmol kg^{-1} de 0.04, y al final de la investigación los resultados fueron: en el T1 la acidez intercambiable fue 0.40; en el T2 la acidez intercambiable fue de 0.28; en el T3 la acidez intercambiable fue 0.54; y en el T0 la acidez intercambiable fue de 0.58 (Figura 16). Según los resultados, todos los tratamientos aumentaron el valor de la acidez intercambiable, lo cual es inversamente proporcional al valor obtenido en el pH, ya que, si el valor de la acidez es alto, el pH es bajo, por lo que se considera que el aumento de la acidez es por el uso del fertilizante fórmula 15-15-15. Los

resultados obtenidos de la acidez intercambiable para los tratamientos 1 y 2 son bajos, y para los tratamientos 3 y 0 (testigo) es medio; esto es importante, ya que si los valores son altos la asimilación de los elementos como el P, K, Ca y Mg es menor.

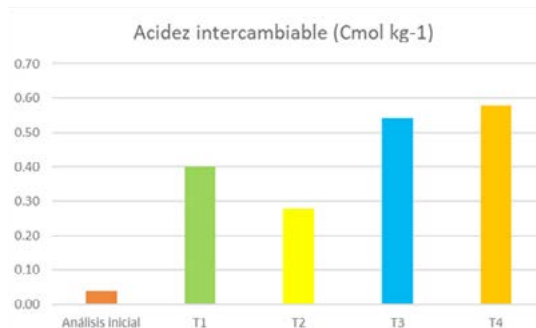


Figura 16. Contenido de acidez intercambiable en el suelo.

Análisis foliar

Contenido de nitrógeno en el follaje de las plantas

Según los resultados del análisis foliar en el laboratorio, el follaje de las plantas de café utilizadas en la investigación al inicio presentó contenido de nitrógeno de 3.65%, y al final de la investigación los resultados fueron: en el T1 el contenido de nitrógeno fue 3.950%; en el T2 el contenido de nitrógeno fue de 4.527%; en el T3 el contenido de nitrógeno fue 4.167%; y en el T0 el contenido de nitrógeno fue 4.125% (Figura 17). Los resultados del nitrógeno son altos en el follaje al compararlos con el cuadro niveles de interpretación de nutrientes en las hojas de PROCAFE (2007), en el cual muestra un nivel óptimo de 2.5 a 3%.

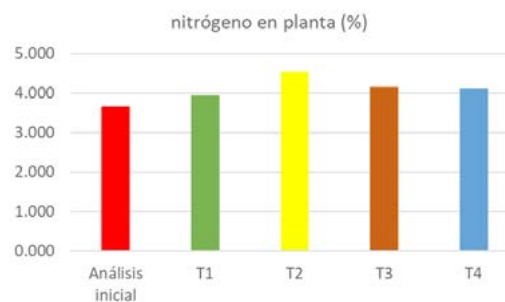


Figura 17. Contenido de nitrógeno en el follaje de las plantas de café.

Contenido de fósforo en el follaje de las plantas

Según los resultados del análisis foliar, el follaje de las plantas de café al inicio presentó contenido de fósforo de 0.4349%, y al final de la investigación los resultados fueron: en el T1 el contenido de fósforo fue 0.234%; en el T2 el contenido de fósforo fue de 0.238%; en el T3 el contenido de fósforo fue 0.274%; y en el T0 el contenido de fósforo fue de 0.209% (Figura 18). El resultado obtenido en el análisis inicial presenta un nivel alto, mientras que los resultados obtenidos al finalizar la investigación los niveles de fósforo son óptimos en el follaje de las plantas para todos los tratamientos, al compararlos con el cuadro niveles de interpretación de nutrientes en las hojas de PROCAFE (2007), en el cual muestra un nivel óptimo de 0.15 a 0.30%.

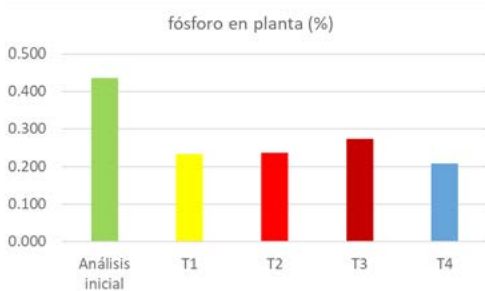


Figura 18. Contenido de fósforo en el follaje de las plantas.

Estadísticamente los tratamientos producen efectos significativos sobre la variable contenido de fósforo en el follaje de las plantas de café, con una probabilidad de 0.05 (Cuadro 11).

Cuadro 11. Análisis de varianza para el contenido de fósforo en el follaje.

FV.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.04	5	0.01	94.13	0.0017
Tratamientos	0.04	4	0.01	117.60	0.0013
Bloques	2.1E-05	1	2.1E-05	0.26	0.6463
Error	2.5E-04	3	8.2E-05		
Total	0.04	8			

Al realizar la prueba de Tukey (Cuadro 12), estadísticamente se demostró que el tratamiento 5, el cual es el análisis inicial, presenta los mejores resultados seguido de los tratamientos 3, luego el tratamiento 2 y 1 con resultados similares, y con los menores resultados el tratamiento 4, con esto se demuestra que el Poliacrilato de potasio influye en el contenido de fósforo en las plantas de café, esto a pesar que las medias obtenidas son similares.

Cuadro 12. Prueba de Tukey para fósforo en el follaje de las plantas.

Tratamientos	Medias	N	E.E.	
5	0.43	1	0.01	A
3	0.27	2	0.01	B
2	0.24	2	0.01	B C
1	0.23	2	0.01	B C
4	0.21	2	0.01	C

Contenido de potasio en el follaje de las plantas

Según los resultados del análisis foliar en el laboratorio, el follaje de las plantas de café utilizado en la investigación al inicio presentó contenido de potasio de 1.72%, y al final de la investigación los resultados fueron: en el T1 el contenido de potasio fue 1.62%; en el T2 el contenido de potasio fue de 1.70%; en el T3 el contenido de potasio fue 1.45%; y en el T0 el contenido de potasio fue 1.22% (Figura 19). Los resultados de potasio en el follaje son bajos al compararlos con el cuadro Niveles de interpretación de nutrientes en las hojas de PROCAFE (2007), en el cual muestra un nivel óptimo de 2.20 a 3.0%.

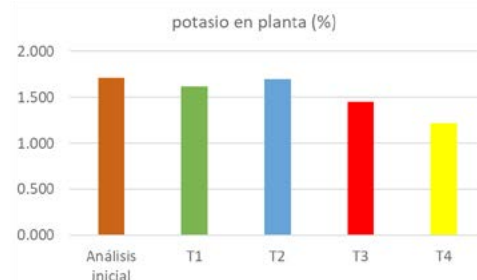


Figura 19. Contenido de potasio en el follaje de las plantas.

Estadísticamente los tratamientos producen resultados no significativos en la variable contenido de potasio en el follaje de las plantas de café, con una probabilidad de 0.05 (Cuadro 13), con esto se demuestra que el poliacrilato de potasio no incide en el porcentaje de potasio presente en el follaje de las plantas de café.

Cuadro 13. Análisis de varianza para el contenido de potasio en el follaje.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.41	5	0.08	7.15	0.0681
Tratamientos	0.40	4	0.10	8.72	0.0531
Bloques	0.01	1	0.01	0.89	0.4154
Error	0.03	3	0.01		
Total	0.44	8			

Contenido de calcio en el follaje de las plantas

Según los resultados del análisis foliar en el laboratorio, los follajes de las plantas de café utilizadas en la investigación al inicio presentaron un contenido de calcio de 0.600%, y al final de la investigación los resultados fueron: en el T1 el contenido de calcio fue 0.903%; en el T2 el contenido de calcio fue 0.520%; en el T3 el contenido de calcio fue 0.504%; y en el T0 el contenido de calcio fue 0.271% (Figura 20). Los resultados de calcio son bajos en el follaje al compararlos con el cuadro niveles de interpretación de nutrientes en las hojas de PROCAFE (2007), en el cual se muestra un nivel óptimo de 1.0 a 2.0%.

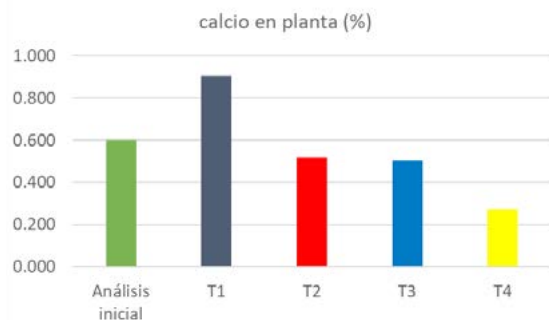


Figura 20. Contenido de calcio en el follaje de las plantas.

Al realizar el análisis de varianza, estadísticamente los tratamientos presentan diferentes resultados sobre la variable contenido de calcio en el follaje de las plantas, con una probabilidad de 0.05 (Cuadro 14).

Cuadro 14. Análisis de varianza para calcio en el follaje de las plantas.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.42	5	0.08	9.08	0.0495
Tratamientos	0.41	4	0.10	11.19	0.0379
Bloques	0.01	1	0.01	0.62	0.4888
Error	0.03	3	0.01		
Total	0.45	8			

Estadísticamente el tratamiento que presenta los mejores resultados es el T1, seguido por los T2, 3 y 5 (análisis al inicio de la investigación). El T0 obtuvo los menores resultados, estos resultados concuerdan con los resultados descriptivos, por lo que el poliacrilato de potasio si influye en el contenido de calcio en el follaje de las plantas (Cuadro 15).

Cuadro 15. Prueba de Tukey para calcio en el follaje de las plantas de café.

Tratamientos	Medias	N	E.E.		
1	0.90	2	0.07	A	
5	0.60	1	0.10	A	B
2	0.52	2	0.07	A	B
3	0.50	2	0.07	A	B
4	0.27	2	0.07		B

Contenido de magnesio en el follaje de las plantas

Según los resultados del análisis foliar en el laboratorio, el follaje de las plantas de café utilizadas en la investigación al inicio presentaron un contenido de magnesio de 0.17%, y al final de la investigación los resultados fueron: en el T1 el contenido de magnesio fue 0.386%; en el T2 el contenido de magnesio fue 0.370%; en el T3 el contenido de magnesio fue 0.357%; y en el T0 el contenido de magnesio fue 0.363% (Figura 21). Los resultados de magnesio en el follaje en el análisis inicial fueron bajos y en los análisis finales

están en un nivel adecuado, al compararlos con el cuadro Niveles de interpretación de nutrientes en las hojas de PROCAFE (2007), el cual muestra un nivel óptimo de 0.25 a 0.4%.

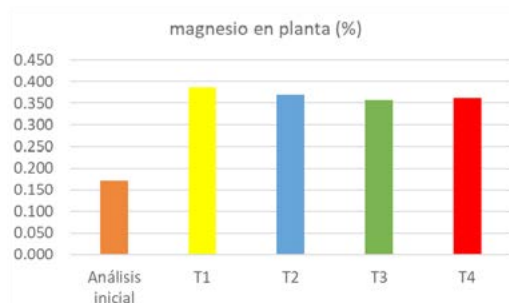


Figura 21. Contenido de magnesio en el follaje de las plantas.

Según el Análisis de Varianza, los tratamientos con poliacrilato de potasio presentan diferencias significativas sobre la variable contenido de magnesio en el follaje de las plantas, con una probabilidad de 0.05 (Cuadro 16).

Cuadro 16. Análisis de varianza para magnesio en el follaje de las plantas.

FV.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.04	5	0.01	12.33	0.0325
Tratamientos	0.04	4	0.01	15.34	0.0245
Bloques	1.7E-04	1	1.7E-04	0.29	0.6269
Error	1.8E-03	3	5.9E-04		
Total	0.04	8			

Al realizar la prueba de Tukey se demostró estadísticamente que los tratamientos 1, 2, 3 y 0 presentan resultados similares entre ellos, y mayor que el análisis inicial, por lo que se demuestra que el poliacrilato de potasio no influye en el contenido de magnesio en el follaje de las plantas de café, con una probabilidad de 0.05 (Cuadro 17).

Cuadro 17. Prueba de Tukey para contenido de magnesio en el follaje de las plantas.

Tratamientos	Medias	N	E.E.	
1	0.39	2	0.02	A
2	0.37	2	0.02	A
4	0.36	2	0.02	A
3	0.36	2	0.02	A
5	0.17	1	0.02	B

Determinación del costo de la aplicación del poliacrilato de potasio en el cultivo del café

Análisis económico

En el Cuadro 18, se describen los costos por manzana (una manzana de terreno es igual a 0.7 Hectáreas (Ha) que corresponde a 7,000m²) de la aplicación del poliacrilato de potasio en el cultivo del café, usando tres dosis: 5 g, 7 g y 10 g por planta, para lo cual se ha realizado un ejercicio para la siembra de café variedad Cuscatleco en dos densidades de siembra, 2,500 plantas por manzana y para 3,333 plantas por manzana.

Para el tratamiento 1 de 5 g/planta, con una densidad de siembra de 2,500 plantas/mz, se tiene una inversión por planta de USD\$0.09 dólares y una inversión por manzana de USD\$218.75 dólares; y para 3,333 plantas por manzana se tiene una inversión de USD\$297.50 dólares.

Para el tratamiento 2 de 7 g/planta, con una densidad de siembra de 2,500 plantas/mz, se tiene una inversión por planta de USD\$0.12 dólares y una inversión por manzana de USD\$306.25 dólares; y para 3,333 plantas por manzana se tiene una inversión de USD\$411.25 dólares.

Para el tratamiento 3 de 10 g/planta, con una densidad de siembra de 2,500 plantas/mz, se tiene una inversión por planta de USD\$0.18 dólares y una inversión por manzana de \$437.50 dólares; y para 3,333 plantas por manzana se tiene una inversión de \$595.00 dólares (Cuadro 18).

Cuadro 18. Costos por manzana de aplicación del Poliacrilato de potasio en café.

Variedad de café	Plantas de café/mz	Poliacrilato de potasio por planta	Poliacrilato de potasio por manzana	Costo del Poliacrilato de potasio	Costo del Poliacrilato de potasio/planta	Costo del Poliacrilato de potasio/manzana
Cuscatleco	2,500	Trat. 1, 5 g	12.5 kg	\$17.50/kg	\$0.09	\$218.75
Cuscatleco	3,333	Trat. 1, 5 g	17 kg	\$17.50/kg	\$0.09	\$297.50
Cuscatleco	2,500	Trat. 2, 7 g	17.5 kg	\$17.50/kg	\$0.12	\$306.25
Cuscatleco	3,333	Trat. 2, 7 g	23.5 kg	\$17.50/kg	\$0.12	\$411.25
Cuscatleco	2,500	Trat. 3, 10 g	25 kg	\$17.50/kg	\$0.18	\$437.50
Cuscatleco	3,333	Trat. 3, 10 g	34 kg	\$17.50/kg	\$0.18	\$595.00

Otros resultados obtenidos

Cuando las plantas de café fueron estimuladas con la humedad en el suelo por la presencia del poliacrilato de potasio hidratado, se observaron cambios en las plantas, como: floración en los primeros seis meses después del trasplante. La variedad Cuscatleco proviene del híbrido Sarchimor T-5296, originado del cruce de la variedad Villa Sarchí 971/10 y el Híbrido de Timor CIFC 832/2; esta variedad posee alto vigor híbrido, de producción precoz, con resistencia a la roya (ANACAFE s.f.).

CONCLUSIONES

El poliacrilato de potasio en dosis de 10 g por planta conservó la humedad en el suelo disponible para las plantas de café por un periodo de 126.25 días (4 meses con 6.25 días) en comparación con las plantas utilizadas como Testigo que vivieron 94.75 días (3 meses con 4.75 días), con una diferencia de 31.5 días (1 mes con 1.5 días).

En las plantas de café donde se aplicó el poliacrilato de potasio en dosis de 10 g por planta se obtuvo un incremento de altura de 21.56 cm en comparación con las plantas de café utilizadas como Testigo que tuvieron un incremento de altura de 13.91 cm, con una diferencia de 7.65 cm, lo que significa mayor desarrollo del follaje de las plantas.

En las plantas de café donde se aplicó el poliacrilato

de potasio en dosis de 10 g por planta y de 7 g por planta se obtuvo un volumen de raíces de 14 cc en comparación con las plantas de café utilizadas como testigo que tuvieron un volumen de raíces de 8 cc, con una diferencia de 6 cc, lo que se traduce en mayor capacidad de las plantas para absorber agua y nutrientes, y mayor tolerancia a plagas del suelo.

El uso del poliacrilato de potasio no influye en el contenido de nitrógeno, fósforo, potasio, magnesio y calcio en el suelo y nitrógeno, potasio y magnesio en el follaje de las plantas de café, ya que no hay diferencias estadísticas en los tratamientos.

El uso del poliacrilato de potasio influye en el contenido de fósforo y calcio en el follaje de las plantas de café, ya que hay diferencias estadísticas en los tratamientos.

El uso del poliacrilato de potasio en una finca cultivada con 2,500 plantas de café de la variedad Cuscatleco aumenta los costos de producción en USD\$437.50 dólares por manzana (0.7 Ha), pero ante los efectos del cambio climático como reducción de la época de lluvias y aumento de los periodos secos, las plantas pueden tolerar estos efectos por más tiempo que en una finca tradicional, ya que se disminuye la muerte de las plantas y se aumenta el desarrollo de las mismas.



<https://revistaagrocienza.wordpress.com/>

Artículo de investigación

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

Proximal bromatological analysis and culinary quality of creole black grain bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivated in western El Salvador

Hernández-Melgar, MA¹; Martínez-Hernández, EG¹, Carranza-Estrada, FA¹, Bonilla-de-Torres, BL¹, Cuadra-Soto, JA², Vivar-de-Figueroa, ME²

RESUMEN

Esta investigación plantea una alternativa para paliar la problemática de la falta de acceso a alimentos de buena calidad en cuanto a seguridad alimentaria y nutricional. Proponiendo 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 estudiaron tres variedades de frijol común grano negro criollo (Cuarentin, Tamazulapa y El Porvenir) cultivadas en la zona occidental de El Salvador. Se determinó la calidad culinaria y el análisis bromatológico proximal, además el análisis de micronutrientes importantes como calcio, magnesio, hierro y zinc. Con la finalidad de comparar los resultados y concluir cuál de estas variedades es la que mejor calidad posee. Se tomó como parámetro comparativo los valores de las tablas de composición de alimentos del Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá (INCAP), correspondientes al *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. Demostrando a través de una representación de datos multivariantes con un gráfico Biplot. Dos de las tres variedades (Cuarentin y Tamazulapa) de *Phaseolus vulgaris* L. presentan parámetros mayores de calidad en análisis bromatológico, análisis de micronutrientes y calidad culinaria. 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 recomienda 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: Seguridad alimentaria y nutricional, análisis bromatológico proximal, calidad culinaria, frijol común grano negro criollo, micronutrientes.

1 Departamento de Química Agrícola, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador.

2 Facultad de Química y Farmacia, Universidad de El Salvador.

ABSTRACT

This research proposes an alternative to overcome the problem of the lack of access to good quality food in terms of food and nutritional security. Proposing the use of *Phaseolus vulgaris* L. (common bean) Creole black grain as a resource that increases the quality and food safety of Salvadoran families. In order to have information on *Phaseolus vulgaris* L. (common bean) Creole black bean, three varieties of Creole black bean common (Cuarentin, Tamazulapa and El Porvenir) cultivated in the western zone of El Salvador were studied. Culinary quality and proximal bromatological analysis were determined, in addition to the analysis of important micronutrients such as calcium, magnesium, iron and zinc. In order to compare the results and conclude which of these varieties has the best quality. The values of the food composition tables of the Institute of Nutrition of Central America and Panama (INCAP by its Spanish acronym), corresponding to *Phaseolus vulgaris* L. were taken as a comparative parameter. With the development and completion of the analytical determinations carried out and through One-way analysis of variance and Tukey's honest significant difference analysis. Demonstrating through a representation of multivariate data with a Biplot graph. Two of the three varieties (Cuarentin and Tamazulapa) of *Phaseolus vulgaris* L. present higher quality parameters in bromatological analysis, micronutrient analysis and culinary quality. Regarding the values that are taken as a reference and therefore can be included as an alternative in development plans in terms of food and nutritional security in the country. Therefore, it is recommended that competent institutions and commissions include in their programs the production and promotion of the consumption of grains of Creole varieties of common black beans, and especially the varieties mentioned in this study.

Keywords: Food and 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 en El Salvador; 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 opción para 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 y Goñi 2004; Ulloa 2011), pero existe muy poca información nacional acerca de las variedades que se cultivan de granos negros. Ante

esta problemática, el estudio pretende investigar tres variedades criollas de frijol común grano negro, 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 2012), 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.

La parte experimental de la presente investigación comprendió 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 de El Salvador: Cuarentín, Tamazulapa y El Porvenir. La parte experimental fue llevada a cabo en el Laboratorio del Departamento de Química Agrícola de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador.

METODOLOGÍA

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 2012), 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.

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, Coeficiente de Hidratación, Densidad del caldo y 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 con base seca. Así mismo 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 (2014), se conoce la importancia de los frijoles (*Phaseolus* spp.) en la nutrición de los diferentes grupos humanos; además, se conocen los factores que condicionan su consumo, aparte de la cantidad disponible que son fundamentales para el mejor o peor aprovechamiento de este alimento, los cuales son:

- Forma de grano.
- Coeficiente de Hidratación.
- Tiempo de cocción
- Densidad del caldo.

Estos factores o la mayoría de ellos, están relacionados para la evaluación de la calidad del frijol cocido, para 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 el grano entre los dedos (basándose en la textura del grano) o bien entre los dientes. Sin embargo, un frijol se evalúa de acuerdo a su textura suave.

Coeficiente de hidratación

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:

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

Dimensiones de grano

Fundamento

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:

$$\text{Peso promedio de grano} = \frac{\sum \text{pesos de granos (g)}}{\text{No. de granos pesados}}$$

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

El tiempo de cocción se determina a través de la evaluación sensorial del grano, conforme avanza la cocción, para lo cual el sentido del gusto nos permite establecer el tiempo que el grano de frijol requiere para alcanzar la condición de textura 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

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:

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

Análisis Bromatológico Proximal

Según la AOAC (1980), el análisis se aplica en primer lugar a los materiales que se usarán para formular una dieta como fuente de proteína o energía y a los alimentos terminados, como un control para verificar que cumplan con las especificaciones o requerimientos establecidos. 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 pasó 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

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

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

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

Este método se divide en tres etapas:

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.

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

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

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.

Ecuación para determinar extracto etéreo:

$$\% \text{ extracto etéreo} = \frac{\text{Peso de E.E.}}{\text{Peso de muestra}} \times 100$$

Determinación de fibra cruda

Consiste en digerir la muestra desengrasada primero con ácido sulfúrico 1.25% y posteriormente 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:

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

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)

Al suministrar una determinada cantidad de energía a un átomo en estado fundamental (E_0). 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 (E_1) 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 (AOAC 1980).

ANÁLISIS DE DATOS

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 demostró la distribución de las tres variables en estudio, contra los valores de referencia para el análisis bromatológico proximal.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados del Cuadro 1, demuestran que para el análisis de la calidad culinaria, para 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 la variedad Tamazulapa que necesita mayor consumo de energía para poder tener una cocción 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), presentaron un tipo de caldo medio, de acuerdo a la densidad de las tres variedades que oscila entre 0.9 y 1.2 g/mL. Al final los tres tipos de granos 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 2012, 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.

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	1.0008	1.0016	<0.9 g/mL claro
	Medio	medio	Medio	0.9 - 1.2 g/mL medio
				>1.2 g/mL espeso
Dimensiones del grano	0.236 g	0.184 g	0.283 g	Peso del grano
	Grande	pequeño	Grande	< 0.193 pequeño
				0.193 g - 0.217 mediano
				>0.217 g grande
	1.5238 mm	1.6235 mm	1.6624 mm	Índice longitud-anchura
	Elíptico	elíptico	Oblongo o Arriñonado corto	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

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 2012, entre ellos están el porcentaje de humedad, fibra cruda, carbohidratos y los valores de referencia del INCAP 2012, además, están el porcentaje de humedad, fibra cruda, extracto libre de nitrógeno y los minerales.

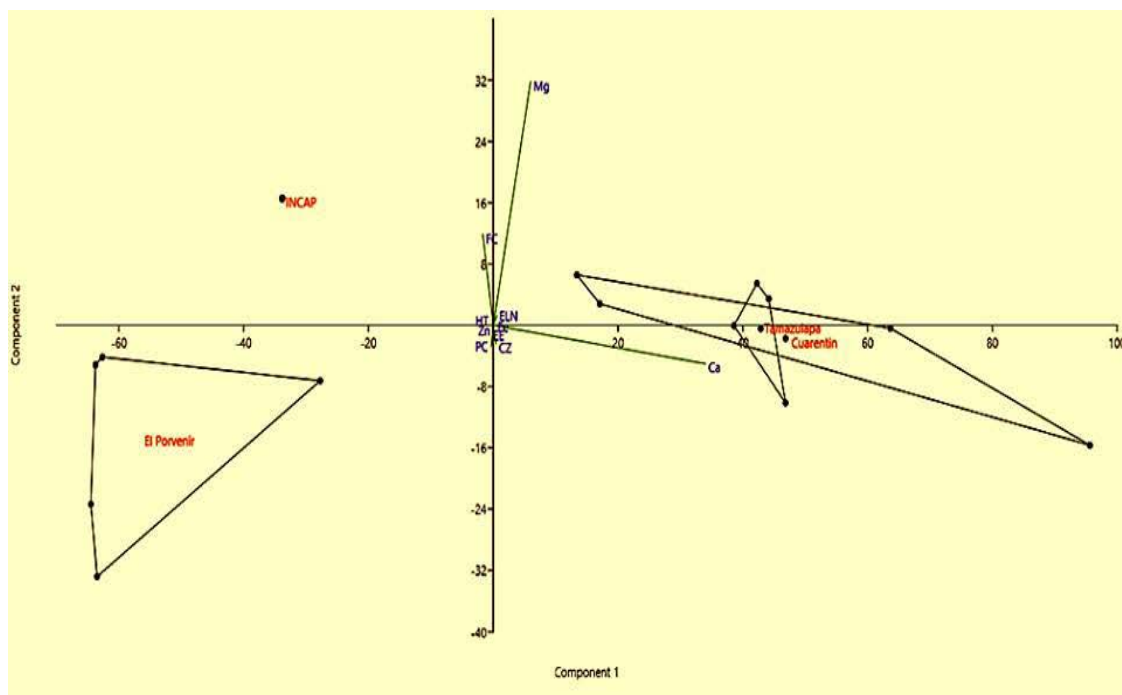
Para interpretar los resultados de una mejor forma se elaboró una gráfica biplot. Con la representación gráfica de la Figura 1, podemos ver la distribución de las medias de los valores del análisis bromatológico proximal y determinación de minerales de las variedades en estudio, donde se observa que la

variedad El Porvenir es la que más dispersa esta con respecto a los valores que presenta el INCAP 2012; así mismo con respecto a las otras variedades, rescatándose que las variedades Cuarentín y Tamazulapa, son las que presentan una mayor similitud entre ellas y también obtuvieron valores promedio mayores a los proporcionados por el INCAP 2012, indicando que de 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 2012 y por ende es la variedad que presenta mayor diferencia de las tres variedades estudiadas (Cuarentin, Tamazulapa y El Porvenir).

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.

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

Figura 1. Representación gráfica (Biplot) de los datos del análisis bromatológico proximal y determinación de minerales.



CONCLUSIONES

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).

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 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 evaluadas en esta investigación tienen resultados cercanos a los valores de referencia del INCAP, demostrando que pueden ser consumidas indistintamente, así mismo pueden ser consideradas dentro de la seguridad alimenticia y nutricional como un recurso importante dentro de la dieta de las familias salvadoreñas.

AGRADECIMIENTOS

Expresamos nuestros más sinceros agradecimientos a los docentes: M.Sc. Ena Edith Herrera Salazar y MSc. Eliseo Ernesto Ayala Mejía, por sus consejos, sugerencias, apoyo y enseñanzas determinantes para alcanzar los objetivos propuestos.

Expresamos nuestra gratitud al M. Sc. Miguel Rafael Paniagua Cienfuegos por el apoyo y asesoría en el diseño estadístico del trabajo de investigación, así mismo 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.

Agradecemos a los agricultores del cacerío 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.

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. 238p.
- 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. 148p.
- INCAP (Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá, GT). 2012. Tabla de Composición de Alimentos de Centroamérica. Guatemala. p.30, 35, 137.
- Serrano, J. Goñi, I. 2004. Papel del frijol negro *Phaseolus vulgaris* en el estado nutricional de la población guatemalteca. Archivos Latinoamericanos de Nutrición. ALAN v.54, No.1 Caracas. (en línea), consultado el 23 de noviembre de 2019. Disponible en: http://www.scielo.org/ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222004000100006
- Triolla, M. 2004. Estadística (9 ed). México: Pearson Educación. 874p.
- 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. 5p.



<https://revistaagrocienza.wordpress.com/>



Artículo de investigación

Evaluación de tres deshidratadores solares para el tratamiento de la vinaza de caña de azúcar y análisis físico químico de los productos resultantes

Evaluation of three solar dehydrators for the treatment of sugarcane vinasse and chemical physical analysis of the resulting products

Flores-Molina JA¹; Leiva-Cruz ME¹; Tejada-Mejía RW¹; Solano-Melara NS²; Palacios-Hernández DJ²

RESUMEN

La investigación se llevó a cabo durante los meses de mayo a noviembre de 2018 en la Universidad de El Salvador del municipio de San Salvador, El Salvador, C.A. Se utilizó un diseño experimental completo al azar con arreglo factorial de 3x3 con dos factores, factor A: volúmenes de vinaza y factor B: deshidratadores solares. Los deshidratadores solares fueron deshidratador sin cobertura (DSC), deshidratador con cobertura de plástico (DCP), y deshidratador con cobertura de vidrio (DCV), estos tuvieron una dimensión de un metro cuadrado cada uno, en los que se evaluaron tres volúmenes de vinaza cruda: 3 litros, 5 litros y 10 litros, haciendo un total de 36 unidades experimentales, para lo cual se escogieron 18 unidades a las que se analizaron propiedades físico químicas: demanda química de oxígeno (DQO), demanda biológica de oxígeno (DBO₅), sólidos totales disueltos, nitrógeno, fósforo, potasio, pH, conductividad eléctrica y materia orgánica. Además, se midieron diferentes factores ambientales: temperatura del ambiente (°C), temperatura interna (°C) (para los DCP y DCV), lamina evaporada (para el DSC) (mm), radiación solar (W/m²), humedad relativa del ambiente (%), nubosidad (%) y velocidad de viento (km/h), los cuales tuvieron incidencia en la eficiencia de cada deshidratador solar, la eficiencia determinó el número de horas necesarias para deshidratar un volumen de 72 L de vinaza cruda; se utilizó un análisis costo/efectividad obteniendo para el deshidratador sin cobertura 59.41% de eficiencia, el deshidratador con cobertura de plástico 27.61% de eficiencia y el deshidratador con cobertura de vidrio con 73.54% de eficiencia. Resultando con la mayor eficiencia el DCV deshidratando los 72 L en un menor tiempo. La metodología estadística empleada consistió en un análisis de varianzas, donde los resultados mostraron que el mejor tratamiento para las variables ambientales estudiadas fue el DCV-5L por obtener la menor variabilidad en los resultados respecto a los demás tratamientos. Los resultados físico químicos presentaron una disminución en la demanda química de oxígeno de la vinaza cruda en 50,700 mg/L a 9,623 mg/L, para el condensado de vinaza; mientras que para la demanda biológica de oxígeno la vinaza cruda contenía 2,106 mg/L y el condensado de vinaza no presentó demanda. Según los valores de N, P, K, DQO y pH, la vinaza cruda y el condensado de vinaza no pueden ser vertidas a cuerpos receptores. En la vinaza deshidratada, los promedios fueron N con 2.13 %, P con 0.16 % y K con 14.46%, por lo que se considera a la vinaza deshidratada como abono orgánico.

1 Departamento de Química Agrícola, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador.

2 Departamento de Recursos Naturales y Medio Ambiente, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador.

Palabras clave: deshidratación de vinaza, deshidratadores solares, demanda química de oxígeno (DQO), demanda biológica de oxígeno (DBO₅), análisis fisicoquímicos, vinaza, octales.

ABSTRACT

The research was carried out from May to November 2018 at the University of El Salvador, municipality of San Salvador, El Salvador, C.A. A complete randomized experimental design with a 3x3 factorial arrangement with two factors was used. Factor A: vinasse volumes and factor B: solar dehydrators. The solar dehydrators were dehydrator without cover (DSC), dehydrator with plastic cover (DCP), and dehydrator with glass cover (DCV). These had a dimension of one square meter each, in which three volumes of raw vinasse were evaluated: 3 liters, 5 liters and 10 liters, making a total of 36 experimental units. Eighteen units were chosen to which physical chemical properties were analyzed: chemical oxygen demand (COD), biological oxygen demand (BOD₅), total dissolved solids, nitrogen, phosphorus, potassium, pH, electrical conductivity and organic matter. In addition, different environmental factors were measured: ambient temperature (° C), internal temperature (° C) (for DCP and DCV), evaporated sheet (for DSC) (mm), solar radiation (W / m²), humidity relative environment (%), cloudiness (%) and wind speed (km / h). These parameters had an impact on the efficiency of each solar dehydrator, the efficiency determined the number of hours necessary to dehydrate a volume of 72 L of raw vinasse; A cost / effectiveness analysis was used, obtaining for the dehydrator without coverage 59.41% efficiency, the dehydrator with plastic cover 27.61% efficiency and the dehydrator with glass cover with 73.54% efficiency. Resulting with the highest efficiency the DCV dehydrating the 72 L in a shorter time. The statistical methodology used consisted of an analysis of variances, where the results showed that the best treatment for the environmental variables studied was the DCV-5L because it obtained the least variability in the results compared to the other treatments. The physical-chemical results showed a decrease in the chemical oxygen demand of the raw vinasse in 50,700 mg / L to 9,623 mg / L, for the vinasse condensate; while for the biological oxygen demand, the raw vinasse contained 2.106 mg / L and the vinasse condensate did not present a demand. According to the values of N, P, K, COD and pH, the raw vinasse and the vinasse condensate cannot be discharged into receiving bodies. In dehydrated vinasse, the averages were N with 2.13%, P with 0.16% and K with 14.46%, for which reason dehydrated vinasse is considered organic fertilizer.

Keywords: vinasse dehydration, solar dehydrators, chemical oxygen demand (COD), biological oxygen demand (BOD), physico-chemical analysis, vinasse, octal.

INTRODUCCIÓN

La vinaza de destilería, se deriva de la fermentación alcohólica de las mieles de caña de azúcar y su contenido representa más del 90% de agua y el resto es materia seca con diferentes contenidos de levaduras, proteínas, enzimas, compuestos inorgánicos, etc. (García y Rojas 2005). Según Korndorfer *et al.* (2010), la composición de la vinaza es muy variable y dependerá de las características de la materia prima usada en la producción de etanol, eficiencia de la fermentación, destilación, variedades y maduración de la caña de azúcar; lo que conlleva un serio problema medio ambiental; por los grandes volúmenes generados (de 15 a 18 veces mayor que el alcohol producido), por su alta carga orgánica con valores de demanda química de oxígeno (DQO) de hasta 100,000 mg/L y varios compuestos como melanoidinas, fenoles (ácido tánico y húmico), caramelos y derivados furánicos (Chanfón y Lorenzo 2014).

En El Salvador la fertirrigación con vinaza en suelos cañeros es más frecuentemente utilizada, debido a los elementos contenidos como el potasio y fósforo; observando aumentos en el rendimiento de la caña de azúcar en sus fases iniciales, la dosis que se aplica es de 100 metros cúbicos de vinaza por cada 700 metros cuadrados de tierra (Monje 2017).

Un estudio realizado por Alfaro y Ocampo (s.f), utilizaron a la vinaza como aporte de sales solubles al suelo, la cual presentó una alta salinidad, afectando al cultivo y su productividad. Además, mostró valores de conductividad eléctrica de 0.4 mS/cm (microSiemens/centímetro), con esto se demostró el poder de salinización que presenta la vinaza y que obliga a tomar medidas, cuando se aplican altas y continuas cantidades de vinaza en el cultivo.

Por su elevado contenido de materia orgánica, la vinaza constituye un material altamente

contaminante, si se dispone directamente, ya que los valores de demanda química de oxígeno (DQO) y demanda biológica de oxígeno (DBO₅) para un contenido de sólidos del 10% equivalente a 116,000 y 41,200 ppm, respectivamente. Por lo cual, se hace necesario su tratamiento antes de ser eliminada (Chanfón y Lorenzo 2014).

Pero existen alternativas de uso de la vinaza, como solución nutritiva, en la cual, estudios realizados por Dos Santos *et al.* (2012), utilizando el método de decantación de vinaza, consiguió un residuo más claro, con un olor ligeramente endulzado y un pH que varía entre 5.3 a 6.0. El volumen de materia sólida y orgánica eliminado de la solución fue de aproximadamente un 90%. Después de la filtración, se conservó 0.2% de la materia orgánica y sólida remanente. Al realizarle un análisis químico a la vinaza tratada, demostró que el nivel de potasio aumentó, mientras que los otros nutrientes como cloruro, sulfato, sodio, calcio, fosfatos, hierro, manganeso y zinc, disminuyeron. Además, Plaster (2000) menciona que los elementos principales presentes en la vinaza, el nitrógeno impulsa un crecimiento carnosos rápido. El fósforo proporciona un crecimiento temprano de la raíz y del florecimiento y una resistencia a las plagas y a los daños climatológicos. Por otro lado, el potasio confiere fuerza, dureza y resistencia a las plagas agrícolas.

Otra alternativa para darle tratamiento a la vinaza, es por medio de la deshidratación en equipos solares, cuyo funcionamiento descrito por Ruiz (s.f) consiste en que una superficie de color negro, con una cubierta con un material transparente y expuesta a los rayos solares creando dentro un efecto invernadero. De lo anterior según Larsson y Tengberg (2014), menciona que la deshidratación se utiliza para concentrar la vinaza, proceso que logró eliminar al menos un 70% de la cantidad de líquido presente. Por esta característica es una forma de reducir el impacto medioambiental de este producto de desecho.

Existen diferentes tipos de deshidratadores, pero los más utilizados según Huezo y Morán (2012), son el deshidratador solar tipo pileta: bandeja de

color oscuro sin ninguna protección o equipo de almacenamiento de energía y deshidratador solar de dos vertientes o tipo caseta que consta de un tejado de material transparente (vidrio o plástico). La radiación del sol evapora el agua, luego se condensa en el panel transparente, se desliza por los lados y precipita a un depósito situado bajo la bandeja.

El Salvador, por estar ubicado aproximadamente entre los 13° y 14° 30' latitud norte, recibe grandes cantidades de energía solar durante el año, que son óptimas para el funcionamiento de los equipos deshidratadores; observando que para el mes de diciembre, enero y febrero, la incidencia de los rayos solares se encuentra orientada hacia el sur. En el transcurso de la época lluviosa de mayo a octubre existe abundante nubosidad que obstaculiza el paso de los rayos solares principalmente en los meses de junio y septiembre que son los más lluviosos, no obstante, debido a la alta humedad relativa en el ambiente junto con las temperaturas predominantes en ese periodo, estas pueden ser productivas para la realización de la deshidratación (Huezo y Morán 2012).

En esta investigación se evaluó la eficiencia de la deshidratación en tres prototipos de deshidratadores solares: deshidratador sin cobertura (DSC), deshidratador con cobertura plástica (DCP) y deshidratador con cobertura de vidrio (DCV), con volúmenes de: tres, cinco y diez litros, para el tratamiento de la vinaza de caña de azúcar, el ensayo se ubicó en la estación meteorológica de la Universidad de El Salvador; en la cual se dio a conocer la eficiencia de la deshidratación de los prototipos con respecto al tiempo en número de horas para deshidratar, cantidad de litros de condensado de vinaza y cantidad de gramos de vinaza deshidratada; al mismo tiempo se determinaron las propiedades físico químicas en el Laboratorio de Química Agrícola de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador: nitrógeno, fósforo, potasio, pH, salinidad, conductividad eléctrica, sólidos totales disueltos, demanda biológica de oxígeno, demanda química de oxígeno y materia orgánica en los productos

resultantes obtenidos en la deshidratación y la comparación de estos con la vinaza sin tratar. Con esto supone una alternativa al tratamiento de la vinaza de caña de azúcar, considerada como agua de desecho, y propone darle nuevos usos por ejemplo, usar el condensado de vinaza como agua de riego, y la vinaza deshidratada como fertilizante, aunque también propone retos de más investigaciones en el área, como evaluación de comportamiento en aguas superficiales y suelos de estos productos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación y duración

El estudio se desarrolló en el periodo comprendido de mayo a noviembre de 2018 en la Universidad de El Salvador, sede central, San Salvador. Específicamente en la estación meteorológica, con coordenadas: latitud norte 13.7185020, longitud oeste -89.2025581, a una altura de 658 msnm y con promedio de 48% de humedad relativa anual. El terreno donde está ubicada la estación posee una topografía plana.

Materiales y equipos

Equipo de la Estación Meteorológica del Sistema de Estudios Territoriales (SNET), ubicado en la estación meteorología de la UES, utilizado para la toma de datos ambientales: radiación solar, humedad relativa, temperatura ambiente y velocidad del viento, que es un ordenador que almacena los datos.

Termómetro digital para medir las temperaturas internas de los deshidratadores con cobertura.

Dos prototipos de deshidratadores solares de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura que tenían un metro cuadrado cada uno y pileta de cerámica negra, con cobertura de dos aguas.

Regla graduada transparente para la medición de la lámina evaporada en el deshidratador sin cobertura.

Vinaza cruda, obtenida directamente de los pozos de oxidación del ingenio cañero La Cabaña.

Adecuación de los deshidratadores

En el deshidratador de dos vertientes con cobertura de plástico (DCP), se reemplazó la cobertura total, sustituyendo el vidrio por plástico. En el deshidratador solar de dos vertientes con cobertura de vidrio (DCV), se reemplazó una de las placas de vidrio que se encontraba quebrada y toda la tubería interna con PVC. Y se preparó un tercer deshidratador solar sin cobertura (DSC), con un tamaño de un metro cuadrado y pileta de cerámica negra.

Metodología de campo

En la investigación se contó con tres deshidratadores solares, por lo que se diseñó un modelo de campo basado en el diseño estadístico. Donde se tomaron en cuenta las cuatro repeticiones durante el experimento, y cada repetición con tres periodos (haciendo en total 12), y un periodo a su vez contenía tres unidades experimentales (haciendo en total 36).

Periodos

Se denominó periodo al rango de horas/día (ocho horas/día) que tardaron los tres deshidratadores solares en transformar la vinaza cruda en condensado de vinaza y vinaza deshidratada. El periodo inició una vez puesta la vinaza cruda (15 minutos antes de las ocho de la mañana), y terminó hasta finalizar la deshidratación. El rango de horas/día varió para cada equipo; pero se finalizó el periodo una vez que los tres equipos terminaron el proceso de deshidratación (Cuadro 1).

Preparación y colocación de la muestra en los deshidratadores

La muestra se homogenizó agitando por diez minutos con ayuda de una vara de madera limpia. Para luego ser colocadas 15 minutos antes de las 8:00 a.m. con ayuda de recipientes plásticos con capacidad de un litro, según cada tratamiento en el periodo correspondiente.

Cuadro 1. Periodos en las repeticiones en campo

Primera repetición	Segunda repetición
Periodo 1: DSC-3 L; DCP-5 L; DCV-10 L	Periodo 4: DSC-5 L; DCP-5 L; DCV-10 L
Periodo 2: DSC-5 L; DCP-10 L; DCV-3 L	Periodo 5: DSC-10 L; DCP-10 L; DCV-3 L
Periodo 3: DSC-10 L; DCP-3 L; DCV-5 L	Periodo 6: DSC-3 L; DCP-3 L; DCV-5 L
Tercera repetición	Cuarta repetición
Periodo 7: DSC-5 L; DCP-10 L; DCV-10 L	Periodo 10: DSC-3 L; DCP-5 L; DCV-10 L
Periodo 8: DSC-10 L; DCP-3 L; DCV-3 L	Periodo 11: DSC-10 L; DCP-3 L; DCV-5 L
Periodo 9: DSC-3 L; DCP-5 L; DCV-5 L	Periodo 12: DSC-5 L; DCP-10 L; DCV-3 L

Toma de datos

Los datos meteorológicos se recolectaron de maneras diferentes:

Por el equipo de la estación meteorológica: se obtuvieron los datos de radiación solar (W/m^2), temperatura ambiente ($^{\circ}C$), velocidad del viento (Km/h) y humedad relativa (%). La toma de datos se realizó cada hora (8:00 am a 4:00 pm).

Datos medidos y observados en campo:

La temperatura interna ($^{\circ}C$) de los deshidratadores solares con cobertura de plástico y vidrio, dada por el termómetro digital. La lámina (mm) del deshidratador sin cobertura con volumen de vinaza cruda, se midió con una regla graduada, cada hora, hasta que concluyó la deshidratación. La nubosidad se midió para los tres deshidratadores solares, en octales debido a que este método empírico clasifica la cantidad de nubes presentes en la bóveda celeste: 0/8 hasta 8/8, las clasificaciones se transformaron luego en porcentajes (de 0.00%, 12.50%, 25.00%, 37.50%, 50.00%, 62.50%, 75.00%, 87.50% y 100.00%).

Metodología de laboratorio

Recolección de muestras

Condensado de vinaza

Al momento de colocar la vinaza cruda en cada

periodo, se montaron frascos plásticos de 1.2 L, donde se recolectó el condensado. Una vez lleno el frasco, se sustituyó por uno vacío, el frasco lleno se trasladó al Laboratorio de Química Agrícola de la Facultad de Ciencias Agronómicas para realizar los análisis correspondientes

Vinaza deshidratada

Cuando la cantidad de condensado de vinaza alcanzó un aproximado de 94.00% recolectado, es decir, alrededor de 9.40 L para un volumen de 10.00 L; 4.70 L para un volumen de 5.00 L y 2.82 L para el volumen de 3.00 L, determinando visualmente, cuando la lámina de vinaza contenía aproximadamente 0.50 mm de espesor; este remanente con humedad sirvió para recolectar toda la muestra presente en la pileta, luego con la ayuda de una espátula de acero inoxidable se recolectó en bolsas plásticas con cierre hermético los sólidos, para ser transferidos al Laboratorio de Química Agrícola de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador.

Pesado y secado de vinaza deshidratada en estufa: la muestra obtenida se pesó y se llevaron a estufa de aire circulante por un promedio de 24 horas a 60-70 $^{\circ}C$ hasta lograr peso constante.

Preparación de las muestras

La vinaza cruda, se clarificó con carbón activado,

se filtró y guardó en balones volumétricos. Para el condensado de vinaza se realizó una digestión en húmedo, la muestra con 5 ml HCl, se filtró y guardó en balones volumétricos. La vinaza deshidratada se secó en estufa a 50 – 70°C/ 24 horas, se molió, se tamizó y se guardó en desecador.

Análisis físico-químicos

Determinación de nitrógeno, Método Micro-Kjeldahl.

Determinación de fósforo, Método Colorimétrico.

Determinación de potasio, Método de espectrofotometría de llama.

Determinación de pH, Método Potenciométrico.

Salinidad, Conductividad eléctrica, Sólidos Totales Disueltos y Temperatura, Método Potenciométrico.

Determinación de materia orgánica.

Demanda Biológica de oxígeno (DBO₅).

Demanda Química de oxígeno (DQO).

Análisis de datos

Diseño estadístico y tratamientos

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con arreglo factorial de 3x3, desglosado en dos factores: factor “A” con tres volúmenes de vinaza cruda: tres litros (3L), cinco litros (5L), y diez litros (10L). El factor “B” con tres tipos de deshidratadores solares: tipo pileta sin cobertura (DSC), de dos vertientes con cobertura de plástico (DCP) y dos vertientes con cobertura de vidrio (DCV). Las interacciones entre los factores formaron un total de nueve tratamientos. Se realizaron cuatro repeticiones (R1, R2, R3, R4) de estos nueve tratamientos, obteniendo en total de 36 unidades experimentales.

Variables estudiadas

Variables para determinar la eficiencia de los deshidratadores solares

Número de horas para transformar la vinaza cruda en productos resultantes: condensado de vinaza y vinaza deshidratada.

Volumen de condensado de vinaza obtenido en litros (para los tratamientos de deshidratador solar con cobertura, ya que del deshidratador sin cobertura no se recuperó condensado de vinaza).

Peso de vinaza deshidratada obtenida en gramos.

Se realizaron comparaciones entre las variables ambientales y dos parámetros.

Parámetro 1: temperatura interna en °C

Parámetro 2: lámina evaporada en mm

Variables ambientales

Radiación solar en Watt/metros cuadrado (W/m²);

Temperatura ambiente en grados centígrados (°C);

Humedad relativa del ambiente en porcentaje (%);

Velocidad del viento en kilómetro/hora (Km/h);

Nubosidad en porcentaje (%)

Análisis efectuados

Pruebas en las variables para determinar eficiencia de los deshidratadores solares y variables ambientales

Se realizó un ordenamiento de datos en el programa Excel® versión 2016 de Microsoft Corporation™. Con el programa InfoStat® versión estudiantil 2018, se efectuó el análisis de varianza con prueba de Tukey; análisis paramétrico para obtener el contraste entre los resultados, con base en las medidas de tendencia central, dispersión, medias, desviación estándar (D.E.), que muestran que tan alejados están los valores respecto a la media y coeficientes de variación (C.V.)

Tabulación y representación gráfica de los análisis físicos químicos

Para el ordenamiento, observación y graficado de los análisis físicos químicos, se realizó un promedio de los datos obtenidos, usando el programa Excel® versión 2016 de Microsoft Corporation™. Los nueve tratamientos se repitieron cuatro veces; de estos, se escogió la mitad para los respectivos análisis, y así garantizar un análisis por duplicado de cada tratamiento. Donde se obtuvieron dos tipos de muestras denominados: condensado de vinaza y vinaza deshidratada, además, se analizó la vinaza cruda al inicio y a la finalización del ensayo, de los parámetros de DBO_5 y DQO, observando de esta forma los cambios en el tiempo de las propiedades.

Metodología económica

Los costos relativos fueron los costos de fabricación de los prototipos de deshidratadores solares expresados en dólares (USD \$), es decir, materiales de construcción, mano de obra y otros descritos en los presupuestos. Los resultados son las horas que fueron necesarias para deshidratar la vinaza cruda y transformarla en condensado de vinaza y vinaza deshidratada.

La eficiencia se obtuvo en porcentaje y resultó de dividir el volumen total utilizado de vinaza cruda (72.00 L) entre las horas que fueron necesarias para deshidratar la vinaza cruda (h) por cien. Y el costo/efectividad resultó de dividir los costos totales de inversión por equipo entre las horas que fueron necesarias para deshidratar la vinaza cruda.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Eficiencia en horas de deshidratación

La eficiencia en horas para cada tratamiento se muestran en la Figura 1, donde se observa gráficamente que el menor número de horas de deshidratación lo obtuvo el DSC-3L con un promedio 5.00 horas, con un coeficiente de variación (CV) de 40% y una desviación estándar (DE) de ± 2.00 horas. Sin embargo, el DCV-5L con un promedio de 6.16 horas, con un coeficiente de variación (CV) de 8.47% y una desviación estándar (DE) de ± 0.52 horas; demostró que, siendo uno de los

tres menores promedios en horas de deshidratación, es estadísticamente aceptable, ya que obtuvo una menor variabilidad en los resultados.

Los promedios obtenidos en los tratamientos donde se utilizó la cobertura de plástico fueron mayores con relación a los sin cobertura y con cobertura de vidrio (Figura 1). Lo que concuerda con Bhardwaj *et al.* citado por Gonzales (2014), indicando que los deshidratadores con cobertura de vidrio son alrededor del 60% más eficientes, respecto a los deshidratadores con cobertura de plástico. Esto debido a las propiedades de transmitancia de los materiales.

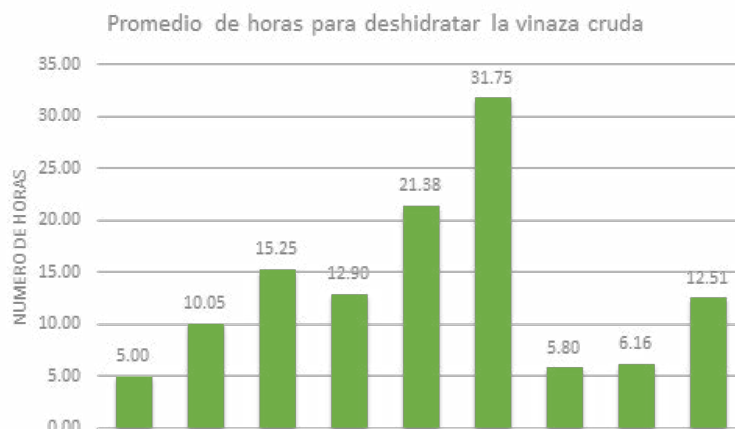
Eficiencia en volumen de condensado de vinaza

La figura 2 muestra los promedios en porcentaje de volumen de condensado de vinaza en litros (L) para los seis tratamientos evaluados para esta variable. Siendo el mayor promedio el DCV-10L con un porcentaje promedio de 94.36% que representa 9.44 L de volumen condensado de vinaza, mientras el menor fue el DCP-3L con 94.07% que representa 2.82 L de volumen condensado de vinaza. Lo que indica que el porcentaje de volumen de condensado de vinaza será similar tanto en volúmenes mayores como en menores de la vinaza cruda colocada en el proceso de deshidratación.

La cantidad de líquido contenido en una muestra de vinaza dependerá de la dilución a la que esté sujeta, por lo que según ECURED (2010), la vinaza utilizada en la investigación se clasifica según su cantidad de líquido contenido, como una vinaza diluida, al contener entre del 92.00 a 90.00%.

Eficiencia en gramos de vinaza deshidratada

La figura 3 muestra los porcentajes promedios de los gramos de vinaza deshidratada para los nueve tratamientos evaluados. Siendo el mayor el DSC-10L con un porcentaje de 2.47% (252.62 g), mientras que el menor fue el DCV-3L con 1.76% (54.05 g). Lo que indica que mientras mayor sea el volumen de vinaza cruda colocada, mayor será el peso en gramos



	DSC-3L	DSC-5L	DSC-10L	DCP-3L	DCP-5L	DCP-10L	DCV-3L	DCV-5L	DCV-10L
H	5.00	10.05	15.25	12.90	21.38	31.75	5.80	6.16	12.51
CV	40.00	37.07	14.54	6.23	30.88	42.75	36.28	8.47	19.58
DE	2.00	3.73	2.22	0.80	6.60	13.57	2.10	0.52	2.45

Figura 1. Promedio de horas de deshidratación

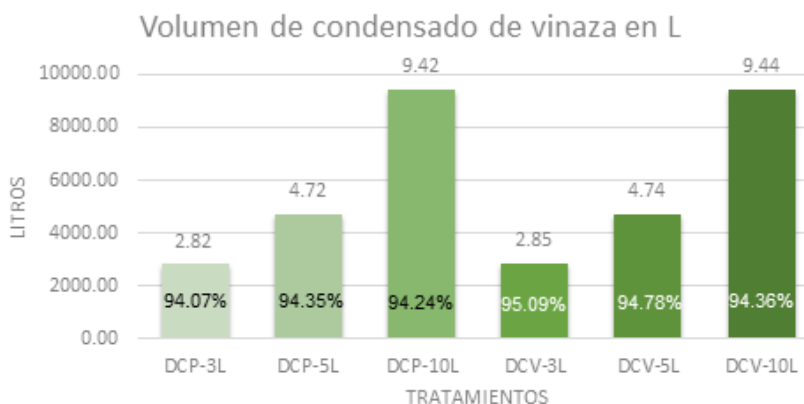


Figura 2. Volumen de condensado de vinaza

de la vinaza deshidratada obtenido en el proceso de deshidratación.

Lo anterior se sustenta con los datos obtenidos por García y Rojas (2015), quienes demostraron que la vinaza obtenida para la producción de etanol contiene menos del 10.00% de contenido de sólidos y más del 90.00% de agua.

Parámetros: lámina evaporada y temperaturas internas con relación a las variables ambientales

Se observó en los datos recolectados que las variables ambientales evaluadas, tienen una relación directa en el aumento de las temperaturas internas y la lámina evaporada. Para cada tipo de deshidratador, uno de los tres volúmenes se comportó de una manera más estable, presentando en el Cuadro 2, los resultados estadísticos de los tipos de deshidratadores. Para el deshidratador sin cobertura, el tratamiento DSC-10

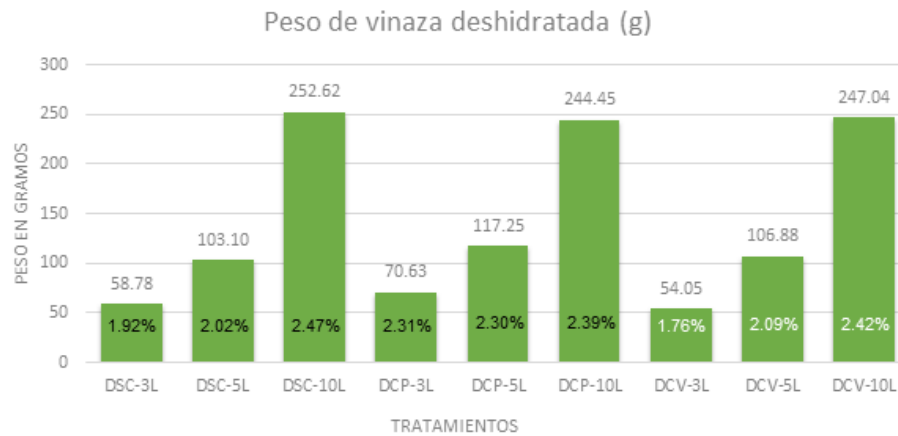


Figura 3. Gramos de vinaza deshidratada

L, para el deshidratador con cobertura de plástico el tratamiento DCP-3 L, y para el deshidratador con cobertura de vidrio el tratamiento DCV-5 L.

Las variables ambientales descritas tuvieron relación directa con la temperatura interna del tratamiento DCV-5 L, realizada en esta investigación, este presentó resultados promedios de 59.98°C, lo cual se asemeja a los descritos en la investigación realizada en Argentina por Zurlo *et al.* (s.f), el cual realizó pruebas con deshidratadores con coberturas de vidrio de 5 mm de espesor, bajo condiciones ambientales propias de la época, obteniendo datos promedio de 65.80°C.

Por otra parte, Al-Hinai *et al.* (2002), planteó que la velocidad del viento es un factor que influye en la deshidratación, por la disminución de la temperatura interna de la cubierta de vidrio y plástico, la cual favorece con una mayor condensación, aseguró también que, este es más influyente si la velocidad del viento se ve aumentada entre 3.60 Km/h a 10.80 Km/h, lo cual genera un incremento de la condensación de un 8.00%; siendo la velocidad promedio para DCV-5.00 L de 2.23 Km/h, la cual generó condensación y deshidratación; pero no la suficiente para aumentar la productividad mencionada por el autor. Sin embargo, Yavara (2013), en su investigación realizada en Chile registró velocidades de viento promedio de 5.40 Km/h, el cual generó una productividad de deshidratación del 13.00%, al mismo tiempo señala que incluso a bajas velocidades de viento (1.00

m/s), se generó deshidratación en comparación a condiciones sin viento.

Para el caso del deshidratador sin cobertura, la influencia de los parámetros ambientales afecta en el factor de evaporación, debido a que no presenta un área de cobertura para condensación. Lucio (2015), mencionó que para que exista una alta tasa de evaporación de agua se necesita de tres factores claves: Calor (radiación solar por encima de los 500 W/m² y temperaturas arriba de los 27.00 °C); Humedad relativa del 45.00% y velocidad del viento de 1.80 Km/h a 5.40 Km/h. Adicional a estos factores, menciona que a mayor superficie del espejo del agua más cantidad de moléculas superficiales son capaces de escaparse, también depende del tipo de recipiente contenedor, pues a mayor grosor, menor capacidad de evaporación, ya que se dedica más calor para el recipiente.

Parámetros físico-químicos

Vinaza cruda y condensado de vinaza

La vinaza cruda sin tratar y el condensado de vinaza no pueden ser vertidas a cuerpos receptores; ya que, se encuentran fuera de los valores permisibles para los parámetros de: nitrógeno, fósforo, pH y DQO (Cuadro 3), por lo que, si se estima al condensado de vinaza obtenido como agua de riego, este debe ser evaluado y medida la calidad de agua para uso

Cuadro 2. Promedios de parámetros y variables ambientales para los tres deshidratadores mejor evaluados

Tratamiento	Lámina evaporada (mm)			Humedad relativa %		
	Temperatura interna (°C)					
	Media	Desviación estándar	Coefficiente de variación	Media	Desviación estándar	Coefficiente de variación
DCP-3 L	53.00°C	3.56	6.72	60.38	3.68	6.10
DCV-5 L	59.98°C	2.67	4.45	60.24	3.96	6.57
DSC-10 L	0.54mm	0.09	16.65	59.05	4.44	7.52

Tratamiento	Temperatura ambiente (°C)			Nubosidad %		
	Media	Desviación estándar	Coefficiente de variación	Media	Desviación estándar	Coefficiente de Variación
DCP-3 L	28.01	0.28	1.01	48.74	25.1	51.51
DCV-5 L	28.04	0.33	1.17	42.42	26.64	62.80
DSC-10 L	28.23	0.37	1.30	35.89	20.67	57.61

Tratamiento	Radiación solar (W/m ²)			Velocidad del Viento (Km/h)		
	Media	Desviación estándar	Coefficiente de variación	Media	Desviación estándar	Coefficiente de variación
DCP-3 L	832.89	64.38	7.73	2.05	0.49	23.84
DCV-5 L	816.65	58.51	7.16	2.01	0.45	22.25
DSC-10 L	842.41	43.08	5.11	2.41	0.49	20.43

Cuadro 3. Promedios de análisis físicos químicos, Norma Salvadoreña NSO-13.49.01:09, parámetros de calidad de agua de riego agrícola e irrigación

	Vinaza cruda	Condensado de vinaza	Valor máximo de la Norma Salvadoreña para aguas residuales	Parámetros de calidad del agua de riego para uso agrícola	Calidad de agua para irrigación
N (%)	0.12	0.0114	0.0050	-	-
P (%)	1.67	0.0003	0.0015	-	-
K (%)	0.70	0.0003	No especifica	-	-
pH	4.97	3.45	5.50-9.00	-	-
Ce- (mS/cm)	14.90	0.50	-	0.70-3.00	0.75-3.00
DBO ₅ (mg/L)	2,106	0	3,000	-	-
DQO (mg/L)	50,700	9,623	3.500	-	-

agrícola, según Castellanos *et al.* (2000), con base a la conductividad eléctrica, la vinaza cruda tiene restricción de uso, mientras que el condensado de vinaza puede ser aplicada sin ningún riesgo de uso. Lo que concuerda con los rangos de calidad de agua para irrigación según la FAO (s.f.), clasificando la

vinaza cruda como una sustancia de muy alto riesgo de salinidad o reducción de la permeabilidad y el condensado de vinaza con bajo riesgo de salinidad. El pH de la vinaza deshidratada es ligeramente ácido, por lo cual no puede ser utilizada, porque sobrepasa la NSO 13.49.01:09 y la conductividad (CONACYT

2009).

Vinaza cruda y vinaza deshidratada

La vinaza deshidratada obtenida en la investigación se consideró como abono orgánico, con un pH ligeramente ácido, ya que según los rangos reportados por Soto y Meléndez (2004), en cuanto a los parámetros de nitrógeno y fósforo está en los niveles óptimos permitidos (Cuadro 4). La Materia orgánica obtenida presentó un porcentaje similar a los reportados por Orozco y Muñoz (2012), donde el compost presentó 13.80% y el lombricompost de 34.40%, también Quintanilla *et al.* (2013), obtuvo para el bocachi 15.17% de materia orgánica y la gallinaza con 43.25%, por lo que para este parámetro puede considerarse a la vinaza un abono orgánico comparado con los abonos de uso común.

Cuadro 4. Promedios de análisis físicos químicos y niveles óptimos para abonos orgánicos

	Vinaza deshidratada	Niveles óptimos para clasificación de abonos orgánicos
N (%)	2.13	> 2.00
P (%)	0.16	0.15 - 1.50
K (%)	0.61	No especifica
pH	6.91	-
MO (%)	47.16	-

Cuadro 5. Relación costo/efectividad por deshidratador

D	Costo/ Deshidratador A	Vinaza cruda B	Horas de deshidratación C	Deshidratado/ Hora D=B/C	Eficiencia E=B/C*100	Costo/ Efectividad F=A/C
DSC	\$327.58	72.00 L	121.20 h	0.59 L/h	59.41%	2.70 \$/h
DCP	\$377.54	72.00 L	264.11 h	0.28 L/h	27.61%	1.43 \$/h
DCV	\$415.54	72.00 L	97.90 h	0.74 L/h	73.54%	4.24 \$/h

CONCLUSIONES

Se observó que el mejor resultado de eficiencia en cuanto a la variable horas de deshidratación, lo obtuvo el tratamiento DCV-5L, con 6.16 horas, presentando la menor variabilidad en los resultados estadísticos.

Relación costo / efectividad

El deshidratador con cobertura de vidrio (DCV) obtuvo una relación costo/efectividad de 4.24USD\$/h, es decir, que en cada hora se deshidrató 0.74 L a un costo de USD\$4.24 con una eficiencia del 73.54%. Esto significa que el deshidratador de vidrio alcanzó el mayor costo, pero, deshidrató los 72 litros en menos tiempo, logrando de esta manera la mayor eficiencia (Cuadro 5). Lo que representa un corto tiempo de deshidratación y una mayor eficiencia comparado con el deshidratador con cobertura de plástico (DCP) que es más barato pero menos eficiente y tarda más tiempo en deshidratar la misma cantidad.

Al utilizar el deshidratador con mayor relación costo/efectividad, se podría obtener el retorno del costo de inversión en menor tiempo y se obtendrían ganancias al vender los productos o utilizar el condensado de vinaza como agua de riego y la vinaza deshidratada como fertilizante, en el mismo ingenio para reducir los gastos en compras externas de fertilizantes.

Se demostró que a mayor volumen de vinaza cruda, mayor es el condensado (Vol.), obtenido con el deshidratador con cobertura de plástico en un volumen de 10.00 litros de vinaza (DCP-10L), con 94.24% equivalente a 9.42 L, por lo que el volumen de condensado y gramos fueron similares en (DCP y DCV),

es decir que estas variables son independientes al tipo de deshidratador a utilizar, existiendo una diferencia en la variable gramos de vinaza deshidratada, siendo mejor el deshidratador con cobertura de vidrio con volumen de 10.00 L de vinaza (DCV- 10 L), con un 2.42% equivalente a 247.04 g.

La vinaza cruda y el condensado de vinaza no pueden ser descargadas a cuerpos receptores por sobrepasar los valores máximos permisibles de la Norma Salvadoreña Obligatoria para aguas residuales descargadas a un cuerpo receptor. Así mismo, la vinaza cruda no puede ser utilizada como agua de riego agrícola; ya que presenta riesgo de reducción de la permeabilidad de los suelos. Mientras que el condensado de vinaza, si puede ser utilizada como agua de riego agrícola, ya que presenta bajo riesgo de salinidad, por lo que no presenta riesgo de reducción de la permeabilidad de los suelos.

La vinaza deshidratada en porcentajes de nitrógeno, fósforo y materia orgánica es similar a los porcentajes de abonos orgánicos de uso común y a la vez están dentro de los rangos óptimos de abonos orgánicos, por lo tanto se clasifica como un abono orgánico. El pH de la vinaza deshidratada es ligeramente ácido, por lo cual no puede ser utilizada, porque sobrepasa la NSO 13.49.01:09 y la conductividad.

La mejor relación costo/efectividad, fue para el deshidratador con cobertura de vidrio (DCV), ya que deshidrató con mayor eficiencia, es decir, más volumen en menos tiempo, con relación a los otros deshidratadores.

BIBLIOGRAFÍA

Alfaro, R; Ocampo, R. s.f. Cambios Físico-Químicos provocados por la Vinaza en un Suelo Vertisol en Costa Rica. (en línea). Costa Rica. 13 p. Consultado 15 feb. 2019. Disponible en: https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:r_RTVZQDRXUJ:https://www.laica.co.cr/biblioteca/servlet/DownloadServlet%3F%3D443%26s%3D2884%26d%3D12532+&cd=1&hl=es-419&ct=clnk&gl=sv

Al-Hinai, H; Al-Nassri. MS; Jubran. B. 2002. El efecto del diseño y los parámetros operativos climáticos en el rendimiento de un generador solar simple. Conversión y gestión de la energía (en línea). Turquía. Consultado 11 abr. 2019. Disponible en: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0196890401001200>.

Castellanos JZ. Uvalle Bueno JX. Aguilar Santelises A. (2000). Manual de interpretación de análisis de suelos y aguas. La calidad del agua para uso agrícola. 2 ed. México. 146-153 p.

Chanfón Curbelo, J. M. Lorenzo Acosta, Y. 2014. Alternativas de tratamiento de las vinazas de destilería. Experiencias nacionales e internacionales. La Habana, Cuba. Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar. ICIDCA. 58; 60; 64p

CONACYT (Consejo Nacional de Ciencia Y Tecnología). 2009. Aguas residuales descargadas a un cuerpo receptor. Norma NSO13.49.01:09. Acuerdo n° 249. San salvador, El Salvador, 11 mar. 17p. Lezcano. P. Mora, L SF. Encuentro de Nutrición y Producción de Animales Monogástricos. Las Vinazas de Destilería de Alcohol. Contaminación Ambiental o Tratamiento para Evitarlo. La Habana, Cuba. p.48-49.

Dos Santos J. D. Lopes da Silva, A, L. Luz Costa J. Newton Scheidt G, Novak A. C. Bittencourt Sydney E. Soccol C. R., 2012. Development of a vinasse nutritive solution for hydroponics. São Paulo, Brasil. São Paulo State University. 8-12p

ECURED (enciclopedia cubana). 2010. Vinaza. (En línea). Cuba. Consultado 7 may. 2019. Disponible en: <https://www.ecured.cu/Vinaza>

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). s.f. Anexo 2. Parámetros de calidad para agua de riego. (en línea). Consultado 30 abr. 2019. Disponibl: en: http://www.fao.org/tempref/GI/Reserved/FTP_FaoRlc/old/prior/recreat/laderas/protec/6.pdf

García A; Rojas C. 2005. Posibilidades de Uso de la Vinaza en la Agricultura de Acuerdo con su Modo de Acción en los Suelos. s. l. Publicación de la Asociación Colombiana de Técnicos de la Caña

- de Azúcar, Tecnicaña. p.12-13.
- Gonzales Castro, E. 2014.** Alternativa al modelo hídrico actual de Menorca: cubierta captadora de lluvia, roció y destilación. Tesis. Ing. Msc. Hidrología. Cataluña. España. Universidad Politécnica de Cataluña. p.52, 54.
- Huezo Bautista, F.R. Morán Urrutia J.I. 2012.** Diseño, construcción y validación de un destilador solar para uso en los laboratorios de la planta piloto de la escuela de ingeniería química. Tesis para optar a Ingeniero Químico, El Salvador, Universidad de El Salvador. 23; 34; 45p.
- Korndorfer, G. H. Noall, A. Gama, J.M. 2010.** Manejo, Aplicación y Valor fertilizante de la vinaza para caña de azúcar y otros cultivos. (en línea) Tecnicaña. Consultado 6 feb. 2019. Disponible en: http://www.tecnica.org/pdf/2010/tec_no24_2010_p25-30.pdf
- Larsson, E. Tengberg, T. 2014.** Evaporation of Vinasse Pilot Plant Investigation and Preliminary Process Design. Tesis para optar a Master's Thesis within the Innovative and Sustainable Chemical Engineering programme Göteborg, Sweden. Chalmers University of Technology. p.2-11.
- Lucio Rojas, GA. 2015.** Diseño de un destilador solar destinado a la potabilización de agua lluvia. Tesis Ing. Mecánico. Distrito Federal. México. Instituto Politécnico Nacional. 27; 29-30 p.
- Monje J. 2017.** Tratamiento de la vinaza. Ingenio la cabaña. San Salvador. El Salvador.
- Orozco, R; Muñoz, R. 2012.** Efecto de abonos orgánicos en las propiedades químicas del suelo y el rendimiento de la mora (*Rubus adenotrichus*) en dos zonas agroecológicas de Costa Rica. Tecnología en Marcha. 25(1):19.
- Plaster EJ. (2000).** La ciencia del suelo y su manejo. Editorial Parainfo. España.
- Quintanilla Menjívar, FN. Yanes Vilorio, CC. Monge de Castro, CB. 2013.** Incidencia del bocashi, gallinaza y su combinación con fertilizantes químicos en la mejora de la fertilidad del suelo y en los rendimientos de maíz (*Zea mays* L.), San Juan Opico, La Libertad. Tesis. Ing. Agr. San Salvador. El Salvador. Facultad de Ciencias Agronómicas. Universidad de El Salvador.
- Ruiz Arcos. J. M. s.f.** Desalinización de agua del mar mediante el uso de energía solar. Tesis para optar a Ingeniero Químico Veracruz, México. Universidad Veracruzana. 23-25p.
- Soto, G. Meléndez, G 2004.** Cómo medir la calidad de los abonos orgánicos. Manejo integrado de plagas y agroecología, Costa Rica. 48(72):91-97.
- Yavara Chavez, W. 2013.** Estudio de dos tipos de destiladores solares pasivos para el tratamiento de aguas del río camaña en la región de Tarapacá. Tesis Ing. Civil Ambiental. Chile. Universidad Arturo Prat. 49; 50p.
- Zurlo, HD; Spotorno R; Rodríguez, DA; Figueredo GR. (s.f).** Estudio comparativo de superficies colectoras y cubiertas transparentes (en línea). Argentina. 3, 4p. Consultado 6 may. 2019. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/266287033_ESTUDIO_COMPARATIVO_DE_SUPERFICIES_COLECTORAS_Y_CUBIERTAS_TRANSPARENTES



<https://revistaagrocienza.wordpress.com/>

Artículo de investigación

Determinación de la calidad microbiológica de pescado fresco comercializado en el área de mariscos del mercado de mayoreo “La Tiendona”, El Salvador

Determination of the microbiological quality of fresh fish commercialized in the seafood area of the wholesale market “La Tiendona”, El Salvador

Linares-Hernández, CE¹; Vásquez-Guardado, JA¹; Rodríguez-Ruano, CA¹; Alvarenga-Artiga RF¹; Sánchez Ramos ME²

RESUMEN

La investigación se realizó entre julio y diciembre de 2017 en el área de pescados y mariscos del Mercado Mayorista “La Tiendona” en el municipio de San Salvador, El Salvador. Se analizó un total de 50 muestras de carne de pescado fresco seleccionadas al azar de 10 puestos diferentes de ventas fijas, tomándose 5 muestras de cada establecimiento. Las muestras fueron procesadas en el laboratorio de Microbiología de Alimentos del Centro de Investigación y Desarrollo en Salud (CENSALUD), a cada una se le realizó el análisis de 3 bacterias con base a los parámetros establecidos por el Reglamento Técnico Centroamericano (RTCA) 67.04.50:08. “Alimentos, criterios microbiológicos para la inocuidad de alimentos, Subgrupo 9.1 Pescados y productos pesqueros frescos. Las bacterias analizadas fueron: *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* y *Salmonella spp.* La cuantificación de *E. coli* se realizó mediante el procedimiento con placas Compact Dry EC, la de *S. aureus* a través del procedimiento con placas Compact Dry XSA y la determinación de ausencia-presencia de *Salmonella spp.*, mediante el procedimiento detallado en el BAM. Los resultados obtenidos fueron los siguientes: cuantificación de *E. coli*, el 66% de las muestras analizadas no cumple con los parámetros establecidos por el RTCA 67.04.50:08; cuantificación de *S. aureus*, el 4% de las muestras analizadas no cumple con los parámetros establecidos por el RTCA 67.04.50:08; determinación de ausencia-presencia *Salmonella spp.*, el 100% de las muestras analizadas no cumple con los parámetros establecidos por el RTCA 67.04.50:08. Por lo tanto, las muestras analizadas no son aptas para el consumo humano, por no cumplir con los parámetros de inocuidad establecidos por el RTCA 67.04.50:08.

Palabras clave: *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Salmonella*, pescado fresco, inocuidad de alimentos.

ABSTRACT

The research was carried out between July and December 2017 in the fish and shellfish area of the Wholesale Market “La Tiendona” in the municipality of San Salvador, El Salvador. A total of 50 randomly selected samples of fresh fish meat from 10 different fixed sales positions were analyzed. 5 samples were taken from each establishment. The samples were processed in the Food Microbiology laboratory of the Center for Research and Development in Health (CENSALUD by its Spanish acronym). The

1 Departamento de Medicina Veterinaria, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador.

2 Facultad de Química y Farmacia, Universidad de El Salvador.

analysis of 3 bacteria was performed on each sample based on the parameters established by the Central American Technical Regulation (RTCA by its Spanish acronym) 67.04.50:08. "Food, microbiological criteria for food safety, Subgroup 9.1 Fresh fish and fishery products". The bacteria analyzed were: *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* and *Salmonella* spp. The quantification of *E. coli* was carried out using the procedure with Compact Dry EC plates, that of *S. aureus* through the procedure with Compact Dry XSA plates, and the determination of the absence-presence of *Salmonella* spp., Using the procedure detailed in the BAM. The results obtained were as follows: quantification of *E. coli*, 66% of the samples analyzed; quantification of *S. aureus*, 4% of the samples analyzed and the determination of absence-presence *Salmonella* spp., 100% of the samples analyzed. Therefore, all the samples analyzed are not suitable for human consumption, as they do not meet the safety parameters established by RTCA 67.04.50:08.

Keywords: *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Salmonella*, fresh fish, food safety.

INTRODUCCIÓN

Según datos de la Organización Mundial de la Salud (OMS) en América Latina y el Caribe, al menos el 70% de los casos de diarreas son de origen alimentario (Calderón 2009). Las enfermedades diarreicas son la segunda causa de muerte de niños y cada año ocasionan el deceso de 52,5000 infantes (o menores). El poco acceso al agua potable y la falta de adecuados sistemas de saneamiento, son los principales riesgos de contaminación de alimentos y por ende la causa de enfermedades diarreicas (OMS 2017). Según datos del Ministerio de Salud de El Salvador, las diarreas ocupan el segundo lugar en eventos de notificación en el sistema de salud público, afectando principalmente a niños menores de 5 años (MINSAL 2018).

En el 2009 El Salvador, mediante el Consejo Nacional de Calidad, aceptó la normativa vigente del Reglamento Técnico Centroamericano (RTCA) 67.04.50:08, correspondiente a "Alimentos: criterios microbiológicos para la inocuidad de alimentos". El que establece los parámetros de inocuidad en los alimentos comercializados en la región. En el caso del pescado fresco, las bacterias a analizar para determinar su calidad microbiológica son: *E. coli*, *S. aureus* y *Salmonella* spp. Estas bacterias producen cuadros de gastroenteritis de leves a agudos y están relacionadas a intoxicaciones por alimentos contaminados con ellas (Brooks *et al.* 2011).

En el Puerto de La Libertad, El Salvador, se analizaron muestras de pescado crudo para cuantificar los microorganismos: *E. coli*, *S. aureus* y determinar ausencia-presencia de *Salmonella* spp. La

cuantificación de *E. coli*, durante el año 2015 reporta que el 100% de las muestras sobrepasaron límites establecidos para la presencia de dichas bacteria; en el caso de la cuantificación de *S. aureus*, el 100% de las muestras sobrepasaron los límites establecidos para esta bacteria; mientras que en la determinación de ausencia-presencia de *Salmonella* spp., el 30% de las muestras dieron positivo a la presencia de la bacteria (Martínez y Romero 2015).

A pesar que la normativa vigente del Reglamento Técnico Centroamericano (RTCA) 67.04.50:08, fue aceptada desde el 2009, hasta la fecha ninguna de las autoridades competentes de El Salvador (MINSAL, Defensoría del Consumidor, entre otras), han realizado los análisis, ni las verificaciones correspondientes con respecto a la inocuidad de la carne de pescado comercializada en el Mercado de Mayoreo "La Tiendona", tomando en cuenta que es el mayor centro de abasto de la zona central de El Salvador. Por tal motivo, el objetivo de esta investigación fue evaluar la calidad microbiológica de pescado fresco comercializado en el área de mariscos de dicho mercado.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación

La investigación se llevó a cabo en el área de pescados y mariscos del mercado de mayoreo "La Tiendona", durante el periodo de julio a diciembre de 2017. El establecimiento es propiedad de la Alcaldía Municipal de San Salvador, El Salvador y administrado por la gerencia de mercados ubicada en las instalaciones del

mismo.

“La Tiendona” está ubicada en un terreno delimitado al norte por la calle Concepción, al sur por la Avenida Peralta, al oriente por la calle Renovación y la comunidad Don Bosco y al occidente con la 24 avenida norte. El área del mercado es de 32550 m² distribuidos de la siguiente manera: área construida: 6948 m², área de parqueos: 7087 m², área verde: 690 m² y vías internas: 20275 m².

Metodología de campo

La inspección comprendió 10 puestos de ventas fijas de pescado fresco. Para la realización del estudio, se seleccionaron 5 muestras de pescado fresco de cada puesto con base a criterios de evaluación del RTCA, contabilizando un total de 50 muestras analizadas.

El muestreo se realizó mediante cinco visitas a la “La Tiendona”, y en cada una de ellas se tomaron muestras en dos puestos de venta diferentes. Se analizaron cinco muestras de pescado fresco de cada puesto, con base a las especificaciones de planes de muestreos establecidas por el RTCA 67.04.50:08 Alimentos (criterios microbiológicos para la inocuidad de alimentos, grupo 9 pescados, derivados y productos marinos. Subgrupo de alimentos pescado y productos marinos frescos). Que recomienda hacer un plan de muestreo de dos clases por atributos, donde de acuerdo con los criterios microbiológicos, puede dividirse en dos grados “aceptable” y “no aceptable”, comprobando la presencia o ausencia de microorganismos, o si el límite microbiológico es superior o inferior a un nivel crítico establecido.

Metodología de laboratorio

Toma de muestra

Durante cada visita, se escogió un pescado de un peso aproximado de media (½) libra que permitió realizar los análisis correspondientes, cada muestra fue transferida a una bolsa individual de polietileno y depositada en una hielera previamente sanitizada con alcohol etílico al 70%, se les colocó una capa de

hielo y fueron transportadas al laboratorio para su posterior análisis, el cual se realizó en un tiempo no mayor a 2 horas después de la toma de muestra. Debido a que este estudio se realizaba por primera vez en el sector, la prioridad fue establecer si había contaminación o no de bacterias nocivas para la salud de los consumidores, razón por la cual no se consideró el tipo de peces para el estudio.

Preparación de diluciones

Dado el tamaño de las poblaciones microbianas que pueden estar presentes en un alimento, que van desde algunos miles hasta varios millones de células por gramo, su determinación cuantitativa requirió la preparación de diluciones conocidas de la muestra (Camacho *et al.* 2009).

Procedimiento

Pesar asépticamente 10 gramos de carne de pescado directamente en una bolsa de polietileno y añadir 90 ml de solución de agua peptonada buferada (APB), usando un stomacher a 260 rpm. Esta fue la dilución 10¹

Pipetear 10 ml de la dilución anterior y transfiriendo a un frasco de dilución con 90 ml de APB. Esta fue la dilución 10².

Pipetear 10 ml de la dilución anterior y añadirlos a un frasco de dilución con 90 ml de APB. Esta fue la dilución 10³.

Determinación de *Staphylococcus aureus* (Andrews *et al.* 2007).

- De las diluciones seriadas decimales 10¹ 10² 10³, inoculando en Placas compact Dry XSA (específica para determinar *Staphylococcus aureus*).
- Inocular 1 ml de la dilución 10¹, con ayuda de una pipeta volumétrica en el centro de una placa XSA, sembrada por duplicado.
- Incubar a 37°C por 24 horas.

- Inocular 1 ml de la dilución 10^2 , con ayuda de una pipeta volumétrica en el centro de una placa XSA, sembrada por duplicado.
- Incubar a 37°C por 24 horas.
- Inocular 1 ml de la dilución 10^3 , con ayuda de una pipeta volumétrica en el centro de una placa XSA, sembrada por duplicado.
- Incubar a 37°C por 24 horas.
- Identificar y cuantificar las UFC/gramo de muestra.
- Compact Dry XSA para *Staphylococcus aureus*. Las colonias características se observan verde azuladas.

Determinación de *Escherichia coli* (Placas compact Dry) (Andrews et al. 2007).

- De las diluciones seriadas decimales 10^1 10^2 10^3 , realizadas inoculando en Placas compact Dry EC (específica para *Escherichia coli*).
- Inocular 1 ml de la dilución 10^1 , con ayuda de una pipeta volumétrica en el centro de una placa EC, sembrar por duplicado.
- Incubar a 37°C por 24 horas.
- Inocular 1 ml de la dilución 10^2 , con ayuda de una pipeta volumétrica en el centro de una placa EC, sembrar por duplicado.
- Incubar a 37°C por 24 horas.
- Inocular 1 ml de la dilución 10^3 , con ayuda de una pipeta volumétrica en el centro de una placa EC sembrar por duplicado.
- Incubar a 37°C por 24 horas.
- Identificar y cuantificar las UFC/gramo de muestra.
- Los coliformes se observan como colonias color rojo, mientras que las colonias de *E. Coli*, se observan en color azul.

Determinación de *Salmonella* spp. (Andrews et al. 2007).

Se pesó asepticamente 25 g de muestra (musculo y/o vísceras de pescado) directamente en una bolsa de polietileno estéril.

Se añadió 225 ml de caldo Lactosado y se homogenizó por dos minutos en el Stomacher a 260 rpm. Se rotulo como dilución 1:10 (10^1).

Se transfirió a un Erlenmeyer estéril de 250 ml y fue cubierto con papel aluminio. Luego se homogenizó por 1 min.

Se incubó a una temperatura de 37°C por 24 horas.

Enriquecimiento

Se transfirió con ayuda de una pipeta volumétrica 1 ml de la dilución (10^1) sobre 10 ml de caldo tetratonato.

Mezclar

Se incubó a una temperatura de 37°C por 24 horas.

Se transfirió 1 ml de la dilución 10^1 sobre 10 ml de medio rapaport vassiliadis.

Mezclar

Luego se incubó a una temperatura de 37°C por 24 horas.

Enriquecimiento selectivo de *Salmonella* spp.

Se agitó suavemente la muestra incubada y luego se tomó una muestra del inculo de medio rapaport vassiliadis. Con la ayuda de un asa bacteriológica estéril en forma de anillo y se sembró en Agar Bismuto-Sulfito (BS).

El asa bacteriológica fue esterilizada, para tomar nuevamente una muestra del inculo que fue sembrado en Agar Salmonella-Shigella (SS).

Se tomó una muestra del inculo de medio Caldo Tetratonato, con la ayuda de un asa bacteriológica estéril en forma de anillo, para sembrar en Agar

Bismuto-Sulfito (BS).

Se esterilizar el asa bacteriológica, para tomar nuevamente una muestra del inóculo, para luego sembrarlo en Agar Salmonella-Shigella (SS).

Se incubó a una temperatura de 37°C por 24 horas.

Luego del periodo de incubación, se verificaron las colonias características que indican la presencia de *Salmonella* spp.

Colonias características de *Salmonella* en siembra agar Bismuto Sulfito, presentan brillo metálico y color negro.

Colonias características de *Salmonella* en agar *Salmonella-Shigella*, se aprecian colonias incoloras transparentes con centro color negro.

Aislamiento.

Se seleccionó una colonia sospechosa y se sembró en TSA con la ayuda de un asa bacteriológica estéril en forma de anillo.

Identificación bioquímica.

Se realizaron las pruebas bioquímicas (glucosa, TSI, Lisina descarboxilasa, LIA, Motilidad, Ureasa, Indol, Voges-Proskauer, Rojo de Metilo, Citrato de Simmons). Se incubó a 37°C por 24 horas. Luego se compararon los resultados con tabla de pruebas bioquímicas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Cuantificación de *Staphylococcus aureus*

El 4% de las muestras no cumplió los límites máximos permitidos por el RTCA 67.04.50:08 (10^3 UFC/gr) (Figura 1). Las personas sanas suelen albergar *Staphylococcus aureus* en la piel, nariz o garganta. La mayor parte de los brotes epidemiológicos están causados por contaminación directa con los alimentos y manos contaminadas con secreciones procedentes de nariz, boca y heridas (Ruiter 1995).

Según “El manual de buenas prácticas de manejo y

aseguramiento de la calidad de productos pesqueros” (Ramírez y Ishihara 2008), establecen que los manipuladores de los puntos de comercialización deben contar con vestimenta adecuada (tapa boca, redcilla, guantes, delantal, entre otros), para evitar contaminar al pescado con *Staphylococcus aureus*, además, los encargos del personal de los puestos de comercialización deben asegurarse que sus empleados realicen controles médicos frecuentes, para detectar enfermedades infecciosas y fomentar buenos hábitos higiénicos.

Martínez y Romero (2015), realizaron una determinación microbiológica en carne de pescado fresco en el puerto de La libertad, El Salvador en 2015, encontrando el 100% de las muestras con ausencia de *Staphylococcus aureus*. Pero con presencia de contaminación por otras bacterias, determinando que el pescado no era apto para el consumo humano.

Gutiérrez y Hernández (2011), realizaron una evaluación de la calidad del producto pesquero comercializado en el mercado “Teodoro Martínez”, para la ciudad de Bluefields, Nicaragua. En el cual el 8% de las muestras excedió el límite permisible de 100 UFC para *Staphylococcus aureus*. Ellos concluyeron que las muestras analizadas no eran aptas para el consumo humano, por contener alta contaminación fecal, relacionándose los resultados con las malas prácticas higiénico-sanitarias de los manipuladores del pescado fresco.

Cuantificación de *Escherichia coli*

El 66% de las muestras no cumplen límites máximos permitidos por el RTCA 67.04.50:08, para *Escherichia coli* (10^2 UFC/g) (Figura 2), este microorganismo indica que los productos pesqueros analizados han tenido contacto con heces fecales. Huss(1997), establece que los principales riesgos de contaminación de *E. coli*, es la mala higiene y poca educación sanitaria de los manipuladores de los puntos de comercialización de pescado fresco, por ser *E. coli* un organismo propio del tracto intestinal del humano y animales de sangre caliente.

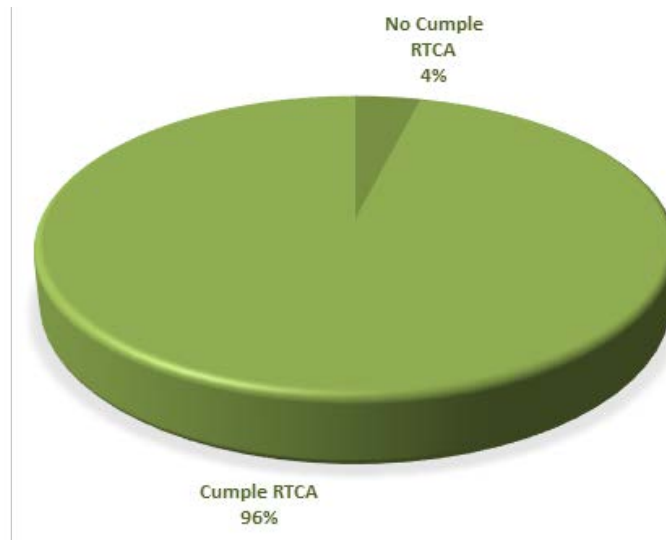


Figura 1. Resultados obtenidos en cuantificación de *S. aureus* en muestras de pescado crudo. Mostrando el porcentaje de muestras que cumple con los requisitos técnicos de inocuidad y el porcentaje de muestras que no cumplen.

Al realizar la recolección de las muestras, se pudo observar que los manipuladores del pescado en los puntos de venta no contaban con la vestimenta adecuada para la manipulación de alimentos. Además, los puestos de venta no cuentan con conexión de agua, lavamanos y desagüe. La mayoría almacenaba el agua para limpieza en huacales o barriles y carecían de sistema de desagüe de aguas contaminadas. También, el servicio sanitario se encuentra en medio de los puestos comerciales y contiguo al cuarto frío donde algunos comerciantes guardan el pescado que sobra del día, lo que representa un alto riesgo de contaminación de *E. coli*.

Los resultados obtenidos coinciden con los datos reportados por Martínez y Romero (2015), quienes realizaron una determinación microbiológica en carne de pescado fresco en el Puerto de La Libertad, El Salvador, reportando que el 100% sobrepasa los límites de bacterias de origen fecal permitidas por el RTCA 67.04.50:08, lo que las vuelve no aptas para el consumo humano; estos resultados los relacionaron con las malas prácticas de manejo y manipulación por parte de los vendedores de los puestos de venta de pescados. Esto da un indicio que en el país no se siguen las buenas prácticas de manipulación, ya que se confirmó contaminación por *E. coli* en dos puntos importantes de distribución de pescado.

Gutiérrez y Hernández (2011), realizaron una evaluación de la calidad del producto pesquero comercializado en el mercado “Teodoro Martínez”, ciudad de Bluefields, Nicaragua. En el cual el 86% de las muestras excedió el límite permisible de 100 UFC para la determinación de Enterobacterias. Concluyendo que las muestras analizadas no eran aptas para el consumo humano por la alta contaminación fecal, relacionando los resultados con las malas prácticas higiénico-sanitarias de los manipuladores del pescado fresco. Esto da un indicio que en la región se tiene problemas con alimentos contaminados por *E. coli*, ya que hay investigaciones que lo confirman en dos países de Centroamérica.

Determinación de *Salmonella* spp.

El 100% de las muestras analizadas, dieron como resultado presencia de *Salmonella* spp., por lo que no cumplen con el criterio microbiológico del RTCA 67.04.50:08, que establece ausencia total de esta bacteria, lo cual hace a este producto no apto para el consumo humano, por el riesgo que conlleva su ingestión para la salud de los consumidores. La *Salmonella* se aloja en el tracto intestinal de los humanos, eliminándose por las heces y transmitidas por contacto directo. Se puede presentar contaminación cruzada por alimentos

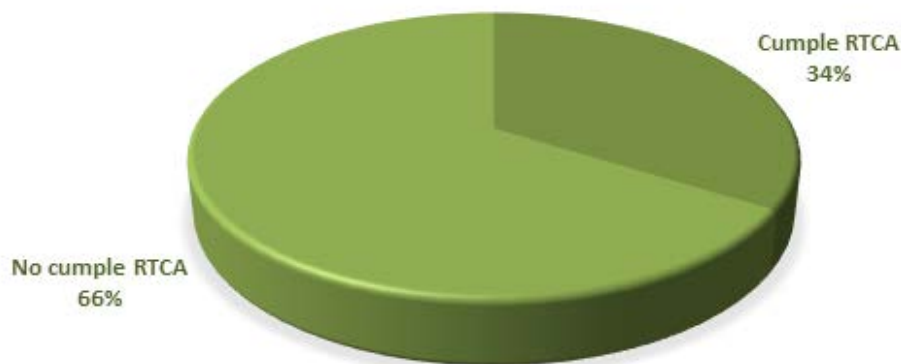


Figura 2. Resultados obtenidos en cuantificación de *E. coli* en muestras de pescado crudo. Mostrando el porcentaje de muestras que cumple con los requisitos técnicos de inocuidad y el porcentaje de muestras que no cumplen.

crudos contaminados y también se multiplican en el ambiente y el material de las diversas instalaciones de elaboración y almacenamiento de alimentos (ICMSF 1996).

Al realizar la recolección de las muestras, se observó que las instalaciones del área de pescados y mariscos del Mercado “La Tiendona”, no son las adecuadas para la comercialización de estos productos, ya que los puestos de comercialización carecen de cuarto frío, superficies lavables, agua potable, desagües, áreas adecuadas para lavar utensilios y equipos. Todo esto representa un riesgo para la contaminación de los alimentos por *Salmonella spp.* Los resultados obtenidos, coinciden con los datos reportados por Martínez y Romero (2015), quienes realizaron una determinación microbiológica en carne de pescado fresco en el puerto de La Libertad, El Salvador, encontrando el 37% de las muestras con resultados positivos a la presencia de *Salmonella*.

Herrera y Santos (2005), realizaron una determinación de *Salmonella spp.* en expendios en el Norte de Santander, Colombia. Obtuvieron como resultado presencia de *Salmonella spp.* en el 12% de las muestras analizadas, ellos compararon los análisis de muestras obtenidas en ventas de pescado fijo con ventas ambulantes, encontrando igual prevalencia, por lo tanto, relacionaron la presencia de la bacteria al lugar de procedencia del pescado.

CONCLUSIONES.

La presencia de las bacterias estudiadas en las muestras de pescado fresco, indican que hay contaminación por mala manipulación y que no se cumplen las normas básicas de protección para productos de consumo humano.

En general, el pescado fresco distribuido en el área de mariscos “La Tiendona”, no es apto para el consumo humano por no cumplir con los parámetros establecidos por el Reglamento Técnico Centroamericano (RTCA) 67.04.50:08, principalmente en el caso de la bacteria *Salmonella spp.*, la cual se encontró en todas las muestras analizadas.

Al realizar la investigación, se observó que los comerciantes del área de pescados y mariscos del mercado municipal “La Tiendona”, no cumplen con las normas básicas de higiene, vestimenta y buenas prácticas de manejo. Eso se vuelve un factor de riesgo para la contaminación del pescado comercializado.

BIBLIOGRAFÍA

- Andrews, WH., Hua Wang, Jacobson, A. and Hammack, T. 2007. Bacteriological Analytical Manual (BAM). Capítulo 5: Salmonella. (en línea). Consultado 15 enero 2018. <https://www.fda.gov/food/laboratory-methods-food/bacteriological-analytical-manual-bam-chapter-5-salmonella>
- Brooks, G., Butel, J. y Morse, S. 1999. Microbiología

- médica de Jawetz, Melnick y Adelberg (pp. 241, 242, 244, 245, 269, 291, 292, 293.). (Trad.) México: Editorial Manual Modern.
- Calderón, G. 2009.** Estudio. Enfermedades transmitidas por alimentos y su impacto socioeconómico, Estudios de caso en Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras y Nicaragua. Ed rev, San Salvador. ES, FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación), 120p.
- Camacho, A., Giles, M., Ortegón, A., Palao, M., Serrano, B. y Velázquez, O. 2009.** Técnicas para el Análisis Microbiológico de Alimentos. 2ª ed. Facultad de Química, UNAM. México.
- Gutiérrez Gadea, DV. y Hernández, FB. 2014.** La calidad del pescado en Bluefields. (en línea). Revista Huellas. 46-51. Consultado 15 jul. 2016. Disponible en <http://revistas.bicu.edu.ni/index.php/Hu/article/viewFile/627/623>.
- Herrera Arias, FC. y Santos Buelga, JA. 2005.** Prevalencia de *Salmonella spp.* En pescado fresco expandido en Pamplona (Norte de Santander). Bistu: Revista de la Facultad de Ciencias Básicas. 3(2). 34-42. Consultado 10 nov. 2016. Disponible en <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=90330205>.
- Huss, HH. 1997.** Aseguramiento de la calidad de los productos pesqueros. FAO Documento Técnico de Pesca. No. 334. Roma, FAO, 174p.
- ICMSF (International Commission on Microbiological Specifications for Foods). 1996.** Microbiología de los alimentos: Características de los patógenos microbianos. Trad. MR Vergés. 1 ed. Zaragoza, ES. Acribia. p.147-153, 255-266, 349-355.
- Martínez Ronquillo, BL. y Romero Angulo, MSD. 2015.** Evaluación de la calidad microbiológica de pescado crudo comercializado en el muelle del puerto de la libertad. Tesis Lic. San Salvador, El Salvador. UES. 88-101.
- MINSAL (Ministerio de Salud). 2018.** Boletín epidemiológico semana 09 (del 25 de febrero al 3 de marzo 2018). El Salvador. 32p.
- OMS (Organización Mundial Para la Salud). 2017.** Enfermedades diarreicas. (en línea). Centro de Prensa. Consultado 14 de agosto de 2016. Sitio Web: <http://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/diarrhoeal-disease>
- Ramírez Villalobos R. y Ishihara H. 2008.** Manual de Buenas Prácticas y Aseguramiento de la Calidad de Productos Pesqueros. El Salvador. CENDEPESCA (Centro de Desarrollo de la Pesca y la Acuicultura), p.19-20; 44-53.
- Ruiter, A. 1995.** El pescado y los productos derivados de la pesca: Composición, propiedades nutritivas y estabilidad. Trad. ML Ferrándiz Martín. 1ed. Zaragoza, ES. Acribia, p.257-273.



<https://revistaagrociencia.wordpress.com/>

Artículo de investigación

Determinación de la Huella Hídrica en los procesos productivos de la leche y su nivel tecnológico en dos ganaderías del occidente de El Salvador

Determination of the Water Footprint in the milk production processes and their technological level in two livestock farms in western El Salvador

Hernández- Hernández, AJ¹; Hernández-Hernández, JA¹; Tejada-Asencio, JM¹

RESUMEN

Esta investigación se realizó en la Hacienda “El Milagro” y la Hacienda “Velesa”, ambas ubicadas en Caluco, Izalco, departamento de Sonsonate, durante agosto 2018 a enero 2019. Se realizaron visitas semanales para recolectar información sobre factores tecnológicos (vacas en ordeño, número de ordeños por día y producción anual de leche), muestreo de suelos (densidad aparente, textura, capacidad de campo y punto de marchitez permanente) y aforo de caudales (micro aspersores, riego por gravedad, riego por aspersión y tratamiento de aguas residuales). Los requerimientos hídricos de los cultivos maicillo (*Sorghum Bicolor*), Mombaza (*Panicum máximum*), Cubano (*Pennisetum sp.*), Swazi (*Digitaria Swazilandesis*), Estrella (*Cynodon plectostachyus*), Morera (*Morus alba*), se calcularon usando cropwat (versión 8.0) y climwat (versión 2.0), para determinar el agua que ingieren los animales por medio de los cultivos. Toda esta información se procesó en un libro de Excel utilizando cuadros y gráficos, donde se determinó la Huella Hídrica (m³ agua / kg leche) por hacienda obteniendo los resultados siguientes: Huella Hídrica hacienda Velesa 0.7108 y 0.6970 m³/ kg, durante la época seca y lluviosa, respectivamente, mientras en hacienda El Milagro 1.3055 y 1.3147 m³/ kg, durante época seca y lluviosa.

Palabras clave: Huella hídrica, Huella Hídrica verde (HHv), Huella Hídrica azul (HHa), Huella Hídrica gris (HHg), ganadería, época seca, época lluviosa.

ABSTRACT

This research was conducted at Hacienda “El Milagro” and Hacienda “Velesa”, both located in Caluco, Izalco, department of Sonsonate, El Salvador, during August 2018 to January 2019. Weekly visits were made to collect information on technological factors (milking cows, number of milking per day and annual milk production), soil sampling (bulk density, texture, field capacity and permanent wilting point) and flow capacity (micro sprinklers, gravity irrigation, sprinkler irrigation and water treatment residual). The water requirements of sorghum (*Sorghum Bicolor*), Mombaza (*Panicum maxima*), Cuban (*Pennisetum sp.*), Swazi (*Digitaria Swazilandesis*), Estrella (*Cynodon plectostachyus*), Mulberry (*Morus alba*) crops were calculated using Cropwat software (version 8.0) and Climwat (version 2.0), to determine the water that animals ingest through crops. All this information was processed in a Microsoft Excel software book using charts and graphs, where the Water Footprint (m³ water / kg milk) per

1 Departamento de Recursos Naturales y Medio Ambiente, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador.

farm was determined, obtaining the following results: Water Footprint for Velesa farm 0.7108 and 0.6970 m³ / kg, during the dry and rainy season, respectively, while at El Milagro farm 1.3055 and 1.3147 m³ / kg, during dry and rainy season.

Keywords: water footprint, green water footprint (WFPg), blue water footprint (WFPb), gray water footprint (WFPg), milk, dry season, rainy season.

INTRODUCCIÓN

Los productos de la ganadería son un importante grupo de alimentos que a menudo no se les presta atención en las actividades de aprovechamiento y manejo de aguas. El constante crecimiento de la población mundial (cuatro veces desde 1900) es directamente proporcional con la cantidad de alimentos demandados para su sostenimiento; situación que ha generado altos consumos de agua (7 a 9 veces) que, unido al cambio climático y otros problemas ambientales, limita la productividad del planeta tierra, por esa razón es necesario evaluar los sistemas productivos actuales para proyectar alternativas de manejo a corto y mediano plazo (Destouni 2008).

La Huella Hídrica, se presenta como un indicador de la gestión y uso del recurso agua en los procesos productivos que permite identificar la relaciones causa-efecto a nivel socioambiental, siendo las actividades socioeconómicas el principal factor de presión en los recursos naturales. Para su determinación la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) desarrolló el manual de evaluación de la Huella hídrica, y la divide en tres tipos: agua verde, azul y gris (Alcaide *et al.* 2008).

De esta forma se establecen tres componentes que constituyen la Huella Hídrica de un producto, estos son: la Huella Hídrica Verde (HHV); cuantifica el agua precipitada y almacenada en el suelo, la Huella Hídrica Azul (HHA); cuantifica el tipo de agua extraída para procesos antropogénicos, desde una fuente subterránea o superficial, Huella Hídrica Gris (HHG); indica la cantidad de agua necesaria para que las aguas extraídas vuelvan a tener características aceptables (De acuerdo a la normativa de calidad de agua vigente en el país) al volver a su fuente natural.

La Huella Hídrica de un producto se expresa como volumen de agua por unidad de producto (Camarero 2011).

Según Mekonnen y Hoekstra (2011), la Huella Hídrica de cualquier animal es mayor que la de un cultivo con un valor nutricional similar. La Huella hídrica promedio por calorías de la carne es 20 veces mayor que la de los cereales y raíces almidonadas, mientras la Huella hídrica por gramo de proteína en leches, huevos y pollos es 1.5 veces más grande que las legumbres. De aquí la necesidad de conocer cuál es la Huella Hídrica generada por un sector de gran importancia en El Salvador, como es el ganadero lechero, situado en el cuarto lugar de mayor producción en Centroamérica (MAG 2012).

El objetivo de la investigación es determinar el cálculo de la Huella Hídrica en la producción de leche en dos ganaderías de la zona occidental de El Salvador, se identificarán dentro de cada una, las entradas y salidas de agua.

MATERIALES Y METODOS

Ubicación

El estudio se realizó de agosto 2018 a enero de 2019 en las haciendas “Velesa” y “El Milagro”, ambas ubicadas a una altitud de 550 msnm en El Caluco, Sonsonate, El Salvador; cuyas coordenadas son, para la primera 13°43'05" N y 89°40'07.7" W, y para la segunda 13°43'48.7" N 89°39'04.4" W".

Metodología de campo

Muestreo de suelo y densidad aparente

Para el análisis de suelo se tomaron 9 muestras en Hacienda “Velesa” y 4 en Hacienda “El Milagro”, debido a que presentaban características similares a nivel de campo, y las pruebas realizadas fueron: densidad

aparente, Infiltración, textura y conductividad hidráulica. Los muestreos se realizaron de agosto a noviembre del 2018.

Infiltración: Cilindros Infiltrómetros

Se introdujeron los dos cilindros en el suelo, con una profundidad aproximada de 15- 25 centímetros; se colocó el flotador con su soporte en el anillo interno, se vertió agua en el cilindro externo hasta la mitad para evitar pérdidas por escorrentía, luego se llenó el cilindro interno, evitando que el flotador estuviera presionado. Se preparó y completó el formulario de registro, anotando la hora de inicio de las lecturas, con intervalos desde 2 hasta 10 minutos. Se garantizó un estricto control de toma de lectura con la hora programada, teniendo el mayor cuidado para evitar que el cilindro quedara sin agua (Figura 1).

Textura, capacidad de campo y punto de marchitez permanente

En hacienda “Velesa”, se tomaron tres puntos de muestreo utilizando un barrenador (cada punto de muestreo con una profundidad promedio de 1 metro, con un peso promedio por muestra de una libra y media, la Muestra 1 (Mx 1): se encontraron 3 horizontes, Mx 2: se encontraron 2 horizontes, se repitió 2 veces porque se encontró una roca que impidió continuar, Mx 3: se encontraron 3 horizontes). En la hacienda El Milagro se tomaron dos puntos de muestreo utilizando un barrenador (cada punto de muestreo con una profundidad de 0.75 metro y un peso promedio de una libra: Mx 1: se encontraron 2 horizontes, Mx 2: se encontraron 2 horizontes), con ayuda del GPS fueron ubicados los puntos de cada uno en un mapa (Figura 2).



Figura 1. Prueba con cilindros infiltrómetros.

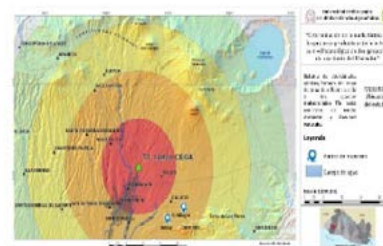


Figura 2. Muestreo de suelo.

Conductividad hidráulica: Permeámetro de Guelph

Se verificó la configuración del permeámetro, se levantó suavemente el tubo de aire superior hasta que el indicador de altura de agua en el pozo marcara la deseada. Ya que la velocidad de descenso del nivel de agua dentro del permeámetro fue muy lenta como para distinguir una diferencia de niveles en un intervalo de aproximadamente dos minutos; se condicionó el flujo para que saliera únicamente a través del recipiente interior (menor diámetro). En seguida se inició la recolección de datos.

Aforo de caudales

Micro aspersores

Los micro aspersores, se utilizan para aclimatar los corrales y se encontraban activos solo en hacienda “Velesa”. Se realizó la medición por medio de un volumen conocido, se midieron 6 micro-aspersores, cada uno con tiempos de 1, 2 y 3 minutos.

Riego por gravedad

Se calculó utilizando el método del flotador y se delimitó una distancia de 6 metros, porque el sistema contaba con uniformidad (sin piedras ni troncos que impidieran el flujo libre del agua); con ayuda de un cronometro, se midió el tiempo que le tomaba al flotador recorrer los 6 metros. A esta velocidad registrada, se le aplicó la velocidad media, debido a que en un canal la velocidad máxima se encuentra en la superficie del canal y va disminuyendo, debido

al rozamiento con el fondo y las paredes laterales y en menor medida por la presión atmosférica el cual es entre 80- 90% de la velocidad superficial (Trueba 1984).

Riego por aspersión

Se realizó con aspersores “Senninger 7025 RD”, boquilla No. 20 con una presión de 3.45 bar, con un caudal de 4631 Litros por hora. El riego se aplicó durante 8 horas con frecuencia de tres veces por semana, se utilizaron 12 aspersores en un área de 10 manzanas (0.7Ha), por tanto, se utilizaron, 444.58 m³ al día, 1,333.73 m³ por semana y 65,544.49 m³ al año

Aguas residuales

Para el muestreo de aguas residuales, se rotularon los recipientes (fecha, hora, lugar y nombre de muestreador). En Hacienda “Velesa”: se tomó una muestra en un canal donde van a parar los desechos, tanto de los potreros como de la sala de ordeño, la muestra fue tomada por duplicado. Para la Hacienda “El Milagro”: se tomó una muestra por duplicado a la entrada de la primera laguna anaerobia, luego otra muestra por duplicado a la salida de la laguna facultativa.

La toma de muestra se realizó mediante un muestreo simple, donde se ambientaron los recipientes previos a su llenado. Las muestras de ambas haciendas fueron transportadas al laboratorio de Química Agrícola de la Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador, donde se realizaron las pruebas de sólidos totales disueltos, sólidos sedimentales, DBO_{5, 20} (este fue utilizado como concentración del contaminante del efluente), oxígeno disuelto y porcentaje de saturación.

La información de la calidad del agua para los efluentes en la zona, se obtuvo del informe nacional del estado del medio ambiente del año 2017, de ahí se tomaron los valores para el río Talnique de la estación de Ateos, departamento de Sonsonate, El Salvador, ya que es la más cercana a la zona de estudio (MARN 2018).

Metodología de Laboratorio

El análisis de suelo, se realizó en el Laboratorio de Suelos de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador, mientras la parte de aguas residuales fue procesada en el Laboratorio de Química Agrícola de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador.

Densidad aparente

Método de Cilindro de volumen conocido: se colocaron las muestras en latas de aluminio rotuladas y pesadas en una estufa a 105°C durante 24 horas, luego se dejaron enfriar y de esta manera se obtuvo el peso seco de las muestras y con la siguiente ecuación se calculó la densidad aparente:

$$DAp \left(\frac{g}{cm^3} \right) = \frac{\text{peso suelo seco (g)}}{\text{Volumen del cilindro } cm^3}$$

Textura

Método de Bouyoucos: se pesó 50g de suelo seco en un Erlenmeyer al que se le adicionó 10 ml de dispersante; se dejó reposar durante aproximadamente dos minutos y se agitó por 5 minutos. La suspensión del suelo se vertió en el cilindro de 1000 ml, se agitó vigorosamente y se sumergió el hidrómetro a los 40 segundos, se tomó la lectura del hidrómetro y la temperatura, pasados 4 minutos, 1 hora y 2 horas (Medina *et al.* 2007).

Capacidad de campo

Ollas a presión: Se basa en la aplicación de aire a 1/3 de atmósfera de presión a muestras de suelo saturados, sobre platos porosos de cerámica hasta que la muestra se mantenga estable, el agua gravitacional es expulsada y el contenido de humedad gravimétrica presente en las muestras de suelo es el correspondiente a la humedad a Capacidad de Campo:

$$HP\%CC = \frac{PF \text{ a } CC - PSS}{PSS} * 100$$

Dónde:

HP%CC= Humedad gravimétrica a capacidad de campo

PF a CC= Masa del suelo húmedo a capacidad de campo

PSS= Masa de suelo seco

Punto de marchitez permanente

Ollas a presión: La variación de este método con el de capacidad de campo, consiste en extraer el agua de las muestras a una presión de 15 atmósferas y determinar el peso del agua. El resto de la metodología permaneció constante (Calderón 2013).

Metodología de Gabinete

El cálculo de huella hídrica, se realizó para la época lluviosa y seca (apoyados en datos climáticos obtenidos del Cropwat, Climwat e informes climáticos del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, MARN), a su vez se toma en consideración únicamente el agua ingerida por los animales mediante los cultivos y no la del concentrado u otro tipo de alimentación. Los requerimientos hídricos de los cultivos, se obtuvieron por medio de los programas de Climwat y Cropwat y por el MARN, quien proporcionó parte de la información climática del lugar; además de registros y otros archivos que tenían las ganaderas, los programas antes mencionados son empleados en la metodología de la Water Footprint Network y el curso “Cálculo y evaluación de la Huella Hídrica como herramienta para la sostenibilidad territorial y la adaptación al cambio climático”. La cantidad de agua consumida por el ganado, se obtuvo tomando en cuenta los resultados obtenidos por Duarte (1997) y Herdt (2017).

Factor clima

Los datos climáticos de temperatura máxima, temperatura mínima, humedad relativa y altitud, se obtuvieron del Ministerio de Medio Ambiente y

Recursos Naturales, mientras que la velocidad del viento se tomó del Climwat (base de datos climáticos creada por la FAO), se utilizaron los mismos datos por cada ganadería, debido a su cercanía geográfica; la misma estación meteorológica aplicaba para ambas haciendas ganaderas.

La evapotranspiración se calculó a partir de los datos climáticos y bajo el procedimiento de Penman Monteith, apoyados en el Cropwat (Mekonnen y Hoekstra 2011).

Factor cultivo

Etapa fenológica: esta información se obtuvo de Cropwat que es una base de datos creada por la FAO y la información fue respaldada y comparada con la información obtenida en campo de cada ganadería, así como el área cultivada y la cantidad de cultivos por hacienda (Cuadro 1). Se investigó el tipo de labores culturales que se realizan a los cultivos, entre ellas: control de malezas, fertilización, tipo de riego, control de plagas y enfermedades.

Cuadro 1. Cultivos y área cultivada por hacienda.

Cultivos	Área manzanas (0.7Ha)	
	El Milagro	Velesa
Maicillo (<i>Sorghum Bicolor</i>)	9	-----
Mombaza (<i>Panicum máximum</i>)	-----	7
Napier (<i>Pennisetum purpureum</i>)	15	6.4
Cubano (<i>Pennisetum sp</i>)	15	5.3
Swazi (<i>Digitaria Swazilandesis</i>)	11	4.9
Estrella (<i>Cynodon plectostachyus</i>)	10	-----
Morera (<i>Morus alba</i>)	-----	8.4
Total	60	32

Análisis de datos

La investigación es de tipo exploratoria descriptiva; se realizó una comparativa entre la Huella Hídrica (m³ agua/ kg de leche) de la hacienda “El Milagro” y

hacienda "Velesa"

Huella Hídrica Verde

Para el cálculo de la Huella Hídrica Verde, fue necesario contar con datos de precipitación y precipitación efectiva, y se trabajó con la ecuación del departamento de agricultura de los Estados Unidos, para la Evapotranspiración se utilizó la ecuación de Penman-monteith:

$$ET_{av} = \min(CWR, Pe) + d$$

Descripción:

ET av= Evapotranspiración agua verde total (mm)

CWR= Requerimiento hídrico del cultivo (mm)*

Pe= Precipitación efectiva (mm)*

d= Déficit (mm)*

* Datos que se obtienen del programa CropWat.

Dentro del programa Cropwat, también se utilizaron algunos datos de suelo y clima. Al obtener la evapotranspiración de cultivo en el programa Cropwat, calculamos la Huella Hídrica Verde.

$$HH_{verde} = \frac{\text{agua en alimento} \left(\frac{m^3}{\text{día} \cdot \text{hato}} \right)}{\text{producción diaria de leche} \left(\frac{kg}{\text{día} \cdot \text{hato}} \right)} = \frac{m^3}{kg}$$

Huella Hídrica Azul

Para el cálculo de Huella Hídrica Azul, primero se identificaron los diferentes usos del agua dentro de la ganadería en la producción de leche, tales como: riego por gravedad, riego por aspersión, microclima y consumo directo de agua del hato. En un principio los valores de riego por gravedad y aspersión no tienen relación con la producción de leche, pero al ser calculada la relación del riego con la alimentación, se obtiene una relación indirecta del agua de riego relacionando el alimento:

$$HH_{azul} = \frac{\text{microclima} \left(\frac{m^3}{\text{día}} \right) + CDH \left(\frac{m^3}{\text{día}} \right) + ME \left(\frac{m^3}{\text{día}} \right) + AARA \left(\frac{m^3}{\text{hato}} \right) + AARG \left(\frac{m^3}{\text{hato}} \right)}{\text{producción diaria de leche} \left(\frac{kg}{\text{día} \cdot \text{hato}} \right)} = \frac{m^3}{kg}$$

H Azul= Huella Hídrica Azul

CDH: Consumo directo del hato (se calculó con base en Herdt 2017 y Duarte 1997)

ME: Manejo de Establo

AARA: Agua en Alimento de Riego por Aspersión

AARG: Agua en Alimento de Riego por Gravedad

Huella Hídrica Gris

La Huella Hídrica Gris (Hg), se divide en dos: Huella Hídrica Gris puntual que corresponde con los efluentes de depuradoras y los retornos de regadíos tradicionales, y la Huella Hídrica Gris difusa que se refiere a la contaminación difusa proveniente de la infiltración-percolación del resto de retornos de riego hacia las aguas subterráneas (IICA 2016); datos de afluente se tomaron del informe nacional de estado de medio ambiente (MARN 2018).

Huella Hídrica Gris puntual

Para el cálculo, fue necesario cuantificar datos de cada ganadera, resultados de análisis de laboratorio y los establecidos en la NSO para aguas residuales:

$$HH_{gris\ puntual} = \frac{Efl \times Cefl - Afl \times Cact}{Cmax - Cnat}$$

Descripción:

Efl = Flujo efluente (v/t)

Cefl = Concentración del contaminante en el efluente (m/v) (DBO_{5,20})

Afl = Flujo afluente (v/t) x

Cact = Concentración real del agua de entrada (m/v) (MARN 2018)

Cmax = Concentración máxima permitida del contaminante en una fuente de agua (m/v)

Cnat = Concentración natural del contaminante en el cuerpo de agua receptor (m/v) concentración natural del efluente es tomada de una investigación del MARN (2018).

El resultado obtenido de la fórmula, se divide por la producción en kilogramos de leche anuales.

Huella Hídrica Gris difusa

$$HH_{gris\ difusa} = \frac{L}{C_{max}-C_{nat}} = \frac{\alpha \times Apl}{C_{max}-C_{nat}}$$

L=Carga contaminante [masa/tiempo]
 Cmax = Estándar de calidad ambiental del cuerpo receptor, [masa /volumen]
 Cnat = Concentración natural del contaminante [masa/volumen] = Fracción de escorrentía-Lixiviación [-]
 Apl = Tasa de aplicación [masa/tiempo]

Huella Hídrica (HH):

$$HH = HH_{verde} + HH_{azul} + HH_{gris\ puntual} + HH_{gris\ difusa}$$

HH= Huella Hídrica
 H verde= Huella Hídrica Verde
 H azul= Huella Hídrica Azul

Huella Hídrica

El factor de estudio fue la Huella Hídrica Verde, Azul y Gris. Los resultados se obtuvieron a partir de la fórmula de Huella Hídrica propuesta por la Water Footprint Network (WFP 2009), los cuales son afectados por los factores tecnológicos del procesamiento y producción con los que cuenta cada ganadería. La Huella Hídrica Verde y Azul se determinaron dos tipos de épocas, permitiendo diferenciar el efecto de las lluvias y el riego en la producción de leche, para ello en los cálculos realizados a Cropwat de cada cultivo, se estableció una fecha de siembra de 01 de diciembre como época seca y 26 de junio época lluviosa, estas fechas se determinaron de acuerdo a las precipitaciones observadas en resultados de Ministerio de Medio Ambiente.

Resultados y discusión

Factores tecnológicos en determinación de Huella Hídrica Verde

Factor Clima

Las ganaderías “El milagro” y “Velesa”, presentaron temperaturas máximas de 36.5 grados Celsius y mínima de 15.7 grados Celsius, con una humedad relativa del 82%. Estos datos fueron proporcionados en el Informe Climatológico de Izalco por el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales de El Salvador, cuya estación meteorológica está ubicada en el río Negro o Ceniza, al noreste del caserío Tapalshucut en el departamento de Sonsonate, los otros datos climáticos fueron tomados del programa Climwat de la estación meteorológica de Izalco (Cuadro 2).

Factor Suelo

Se obtuvieron diversas texturas: franco arcilloso, franco, franco arenoso, predomina en la Hacienda “El Milagro”: franco arcillo arenoso (FAA) y en la Hacienda “Velesa”: franco arcilloso (FA), junto a la textura también se determinaron propiedades como: densidad aparente, capacidad de campo (CC), punto de marchitez permanente (PMP) (Cuadro 3).

Huella Hídrica Verde por hacienda

Observamos en la Figura 3 una de las principales diferencias en la Huella Hídrica Verde, esto debido al tipo y cantidad de alimento, ya que hacienda El Milagro, ofrece una mayor cantidad de alimento que la Hacienda “Velesa”; además, “Velesa” provee distintos tipos de raciones alimenticias de acuerdo con la edad de los animales.

Cuadro 2. Perfil Agroclimático de las haciendas

Ganaderías	Temperatura máxima/mínima (° C)	Humedad Relativa %	Velocidad del viento (Km/día)	Precipitación (mm/ año)	Precipitación efectiva (mm)
Hacienda Velesa	36.5 /15.7	82	181	2171.7	1737.4
Hacienda El Milagro	36.5 /15.7	82	181	2171.7	1303

Cuadro 3. Características del suelo por hacienda.

Ganadería	Textura	Densidad Aparente (g/cm ³)	% humedad a CC (%w)	% humedad a PMP (%w)	Infiltración (mm/h)
Hacienda “El Milagro”	FAA	1.20	25.53	10.50	11.93
Hacienda “Velesa”	FA	1.30	31.82	12.78	13.58

Los resultados obtenidos son menores que el encontrado por Osorio (2013) de 1.18 m³/kg (0.537 m³ /lb de leche), quien también explica que este valor está fuertemente relacionado con la tasa de evapotranspiración de cultivo (forraje destinado a la alimentación), manejo y ración alimenticia ofrecida a los animales, su investigación se realizó en Chile.

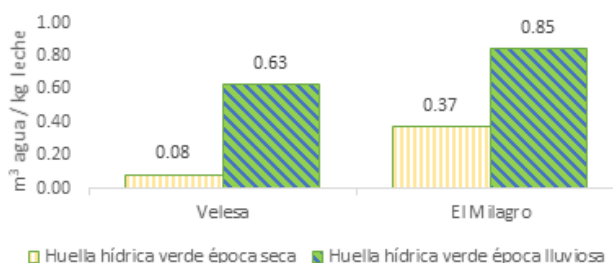


Figura 3. Huella Hídrica Verde.

Huella Hídrica Azul por hacienda ganadera

El cálculo de la Huella Hídrica Azul, se ve más afectado por el factor tecnológico riego, comparado con: consumo directo del hato, manejo del establo y microclima. El riego explica el valor de la Huella Hídrica Azul, debido a su uso en la producción de alimento y la diferencia entre Huella Hídrica Azul por hacienda, se debe también a la cantidad de alimento

ofrecido a los animales como se mencionaba en la Huella Hídrica Verde.

Corredor *et al.* (2017), reportaron un valor de 0.197 m³/kg de leche, pero toma en cuenta únicamente el agua bebida por los animales directamente y el agua incorporada en la leche, tomando como referencia que la leche es 87% agua, esta Huella puede diferir a partir de varios factores como: contenido de grasa en la leche, tipología del terreno, tipo de alimentación, sistemas de riego, áreas destinadas para forraje. Este valor es mucho menor al encontrado en nuestra investigación (Figura 4), debido a la metodología por los factores tecnológicos considerados en el cálculo de la Huella Hídrica Azul.

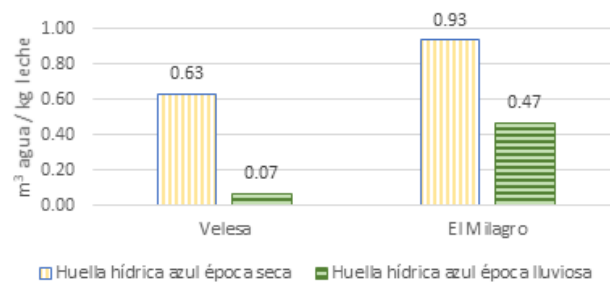


Figura 4. Gráfico comparativo Huella Hídrica Azul.

Huella Hídrica Gris

Huella Hídrica Gris puntual

La carga contaminante descargada (Huella Hídrica Gris puntual) en ambos casos es muy pequeña en “Velesa” con: 2.726×10^{-4} m³/kg leche, mientras en “El Milagro”: 8.1×10^{-6} m³/kg leche, la principal diferencia en el cálculo de esta Huella se explica mediante las lagunas de tratamiento primario que posee “El Milagro”. El caudal de salida es menor que en “Velesa” y la carga de contaminante es menor también en “El Milagro”, debido a que en “Velesa”, no se proporcionaba ningún tipo de tratamiento a estas aguas.

Huella Hídrica Gris difusa

La Huella Hídrica gris difusa, se refiere a las cantidades de nitrógeno aplicado a los cultivos por hectárea en cada cooperativa (Cuadro 4). Los resultados obtenidos de Huella Hídrica Gris difusa en “Velesa” fueron de 2.386×10^{-3} (m³/kg) y “El Milagro” de 3.770×10^{-3} (m³/kg). El resultado de Huella Hídrica Gris difusa, no es muy alto, sin embargo entre ambas haciendas podemos observar una diferencia de 1.5632 veces más en “El Milagro” que en “Velesa”, y se debe principalmente a la extensión destinada a cultivo que es 1.88 veces más, y con ella a la cantidad de fertilizante aplicado. En “El Milagro” se aplican 57.8 quintales más de nitrógeno que en “Velesa”.

Cuadro 4. Quintales de nitrógeno por hectárea por cultivo en cada hacienda.

Hacienda Velesa		Hacienda El Milagro	
Cultivo	Quintales de nitrógeno por Hectárea	Cultivo	Quintales de nitrógeno por Hectárea
Mombaza	15.73	Maicillo	18.58
Napier	13.47	Napier	25.60
Cubano	18.55	Cubano	54.37
Swazi	9.53	Swazi	19.32
Morera	12.66	Estrella	9.87

Huella Hídrica Gris

Los resultados de la Huella Hídrica Gris (Figura 5), son la suma de la Huella Hídrica Gris difusa y puntual, estos son bastante bajos comparados con las otras huellas, aunque su impacto está más relacionado con la contaminación del recurso hídrico. La diferencia entre cada hacienda, está fuertemente expresado por el manejo de aguas residuales que posee hacienda “El Milagro”. Osorio (2013), presenta un valor de 0.082 m³/kg de leche, tomando en cuenta únicamente el nitrógeno lixiviado por fertilizantes, este valor es menor que los obtenidos por las haciendas “El Milagro” y “Velesa”, y probablemente se debe al manejo agronómico de los cultivos, metodología aplicada en cuanto al manejo de aguas residuales y las características del suelo.



Figura 5. Huella Hídrica Gris.

Huella Hídrica

De acuerdo con la Figura 6, podemos observar que durante la época seca, la Huella Hídrica de mayor relevancia es la Huella Hídrica Azul, mientras en la época lluviosa es la Huella Hídrica Verde, para ambas haciendas.

La diferencia entre época seca y lluviosa en hacienda “Velesa” es de 0.0301 m³/kg, mientras que en hacienda “El Milagro” la diferencia es de 0.0519 m³/kg, es decir entre épocas no hay mucha diferencia en el valor de Huellas, con lo que se podría determinar la Huella en cualquiera de las dos épocas.

Tanto la Huella Hídrica Verde como la Huella Hídrica Azul, se ven directamente afectadas por la cantidad

de agua (precipitación o riego), el rendimiento de los cultivos y la ración alimenticia ofrecida a los animales; mientras la Huella Hídrica Gris, si bien es un valor muy pequeño, existe una diferencia bastante marcada en la Huella Gris puntual en “El Milagro” debido al tratamiento de las aguas residuales y en la Huella Hídrica Gris difusa, debido al manejo y la cantidad de animales que posee la hacienda.

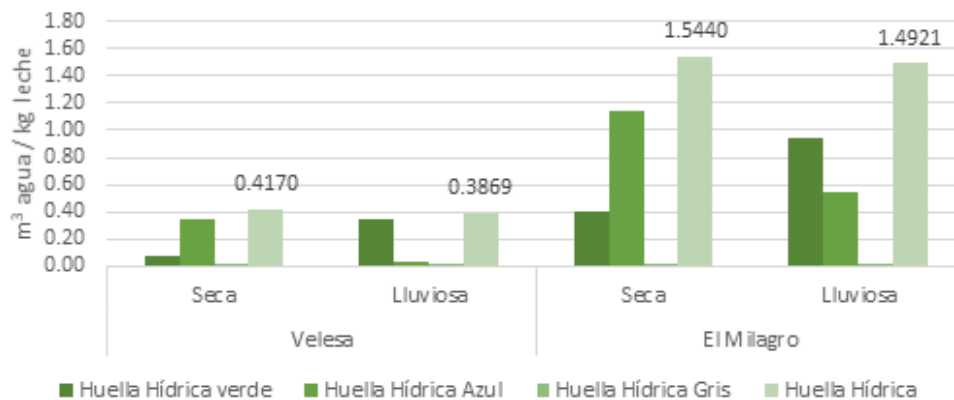


Figura 6. Huella Hídrica por hacienda.

Conclusiones

Se determinó que la Huella Hídrica es similar entre épocas por hacienda ganadera.

La diferencia entre Huella Hídrica por hacienda, está directamente relacionada con la cantidad de alimento y el tipo de alimento ofrecido a los animales.

La Huella Hídrica Gris en hacienda “El Milagro”, es menor que en hacienda “Velesa”, esto debido a la tecnología aplicada a las aguas residuales en hacienda “El Milagro”.

Debido a la baja cantidad de fertilizantes nitrogenados utilizados en ambas haciendas, la Huella Hídrica Gris difusa, no posee un efecto muy grande en la determinación de la Huella Hídrica Total.

Bibliografía

- Alcaide, SD; Santos, PM; Willaarts, B; Moreno HE; Madurga LM. 2008. Huella Hídrica y Agua virtual en Cartabía. Santander. España. 136p.
- Calderón Díaz JA. 2013. Métodos para determinar Constantes de Humedad Capacidad de Campo y Punto de Marchitez Permanente. (en línea, PDF). Consultado el 25 feb 2017. Disponible en http://www.academia.edu/4787268/M%C3%A9todos_para_determinar_las_Constantes_de_Humedad
- Camarero F, 2011. Huella hídrica, desarrollo y sostenibilidad en España. Madrid, España. 425p.
- Corredor Camargo, ES; Castro Escobar ES; Páez Barón, EM. 2017. Estimación de la Huella Hídrica para la producción de leche en Tunja, Boyacá. Tunja (Boyacá)-Colombia. Revista Ciencia y Agricultura (Rev. Cien. Agri.) Vol. 14 (2):7-11. Consultada el 22 de noviembre 2018. Disponible en <file:///C:/Users/cic5/Downloads/Dialnet-EstimacionDeLaHuellaHidricaParaLaProduccionDe>

[Leche-6070917.pdf](#)

- Destouni, G. 2008.** Feeding the future world. Securing enough food for 10 billion people. Estocolmo Suecia. p.9-22
- Duarte, E. 1997.** Uso del agua en establecimientos agropecuarios: Sistema de abrevadero (Parte I) ¿Cuánta agua toma una vaca? Montevideo. Uruguay. 7p.
- Herd, TH. 2017.** Veterinary manual: Nutritional requirement of dairy cattle. Michigan. Estados Unidos. s.p.
- IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la agricultura, Costa Rica). 2016.** Curso de Capacitación: Fundamentos de la Huella Hídrica en el sector agrícola en un contexto de Cambio Climático. San José. Costa Rica. 6p.
- MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería, El Salvador). 2012.** Caracterización de la cadena productiva láctea en El Salvador. San Salvador. El Salvador. 126p.
- MARN (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, El Salvador). 2018.** Informa de Estado Nacional de Medio Ambiente. San Salvador El Salvador. p.60-65.
- Medina, G; García, J; Núñez, D. 2007.** El método del hidrómetro: base teórica para su empleo en la determinación de la distribución del tamaño de partículas de suelo. La Habana, Cuba. (en línea). Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias 16(3):19-24. Consultado 26 feb. 2017. Disponible en <http://www.redalyc.org/pdf/932/93216305.pdf>
- Mekonnen, MM y Hoekstra, AY. 2011.** The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products. Twente, Holanda. 24p.
- Osorio Ulloa, A. 2013.** Determinación de la huella del agua y estrategias de manejo de recursos hídricos: Huella Hídrica en leche y carne bovina. La Serena, Chile.
- Trueba Coronel, S. 1984.** Hidráulica. Ed. Continental. México DF. México.
- WFP (Water Footprint Network, España). 2009.** Manual de evaluación. Manual para la Evaluación de la Huella Hídrica. Toledo, España. 44p.



<https://revistaagrocienza.wordpress.com/>



Artículo de investigación

Zonificación agroclimática de los cultivos de fresa (*Fragaria chiloensis* L.), lechuga (*Lactuca sativa* L.) y repollo (*Brassica oleracea var. capitata* L.) en el departamento de Chalatenango, El Salvador

Agroclimatic zoning strawberry crops (*Fragaria chiloensis* L.), lettuce (*Lactuca sativa* L.) and cabbage (*Brassica oleracea var. capitata* L.) in the department Chalatenango, El Salvador.

Zavaleta-Vásquez, EJ¹; Tobar-Melgar, JR¹; Argueta-Platero, AA²

RESUMEN

La investigación se llevó a cabo en el departamento de Chalatenango, El Salvador, durante el período de octubre de 2017 a mayo de 2018, consistió en realizar un estudio de zonificación agroclimática para delimitar zonas aptas potenciales o favorables para los cultivos de fresa, lechuga y repollo. La metodología se desarrolló en tres fases: la primera consistió en recopilar información físico-química de los suelos, topográfica y climática del departamento y los requerimientos edafoclimáticos de los cultivos en estudio. La información recolectada fue escasa, por lo cual en la segunda fase se utilizaron menos variables, entre ellas: la precipitación, temperatura, brillo solar, pendiente, altitud y textura. Posteriormente, en la tercera fase, se usó el método de evaluación MultiCriterio (EMC), con tres criterios: no aceptable (1), aceptable (2) y favorable (3). Con la herramienta de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), se utilizaron números, y como resultado se obtuvo un conjunto de tres códigos correspondiente a las variables, pendiente, altitud y temperatura. En la variable de temperatura se utilizaron siete estaciones meteorológicas, con promedio de treinta años (1985-2015) y esta se interpoló con el método de ponderación inverso a la distancia (IDW, por sus siglas en inglés). En los mapas de zonificación agroclimática por cultivo, se seleccionaron las áreas favorables para el establecimiento y desarrollo de los mismos para todo el departamento de Chalatenango, los resultados de las áreas favorables fueron: 607 hectáreas (Ha) (0.5%) de lechuga, 829 Ha (0.7%) de fresa y 1,319 Ha (1.5%) de repollo. San Ignacio y La Palma son los municipios con mayor producción de hortalizas en el departamento de Chalatenango. En el trabajo de campo, se realizaron encuestas a los productores de lechuga y repollo en los cantones de Las Pilas, municipio de San Ignacio y Los Planes, municipio de La Palma, con el objetivo de validar la información de las áreas productoras de los cultivos en estudio con los mapas de zonificación agroclimática. La metodología es válida para la zonificación agroclimática de los cultivos, pero puede mejorarse con mayor información edáfica de la zona.

Palabras clave: Zonificación agroclimática, geoprocesamiento, MultiCriterio, estaciones meteorológicas, fresa, lechuga y repollo.

1 Departamento de Recursos Naturales y Medio Ambiente,, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador.

2 Escuela de Posgrado y Educación Continua, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador.

SUMMARY

The research was carried out in the department of Chalatenango, El Salvador, from October 2017 to May 2018. It consisted of carrying out an agroclimatic zoning study to delimit suitable or potential areas for strawberry, lettuce and cabbage. The methodology was developed in three phases: the first phase consisted of gathering physical-chemical information on the soils, topography and climate of the department and the edaphoclimatic requirements of the crops under study. The information collected was scarce, which is why less variables were used in the second phase, including: precipitation, temperature, solar brightness, slope, altitude and texture. Subsequently, in the third phase, the Multi-Criteria (EMC) evaluation method was used, with three criteria: not acceptable (1), acceptable (2) and favorable (3). With the Geographic Information Systems (GIS) tool, numbers were used, and as a result a set of three codes was obtained corresponding to the variables: slope, altitude and temperature. Seven meteorological stations were used in the temperature variable, with averages of thirty years (1985-2015) and this was interpolated with the inverse distance weighting method (IDW). In the agroclimatic zoning maps by crop, the favorable areas for the establishment and development of these crops were selected for the entire department of Chalatenango. The results of the favorable areas were: 607 hectares (Ha) (0.5%) of lettuce, 829 Ha (0.7%) of strawberry and 1,319 Ha (1.5%) of cabbage. San Ignacio and La Palma are the municipalities with the highest vegetable production in the department of Chalatenango. In the fieldwork, surveys were carried out with the producers of lettuce and cabbage in the cantons of Las Pilas, municipality of San Ignacio and Los Planes, municipality of La Palma, with the aim of validating the information of the areas producing the crops. under study with agroclimatic zoning maps. The methodology is valid for the agroclimatic zoning of crops, but can be improved with more soil information in the area.

Keywords: Agroclimatic zoning, geoprocessing, MultiCriteria, weather stations, strawberry, lettuce and cabbage.

INTRODUCCIÓN

Entre los factores que determinan la producción agrícola se encuentran el clima, suelo, las características de la planta, la tecnología y manejo. El estudio de estos factores permite la delimitación de las zonas más aptas para la agricultura, o zonificación de los cultivos, que es uno de los aspectos que más interesa a los planificadores agrícolas. Una adecuada evaluación y análisis de los recursos climáticos es fundamental para efectuar una zonificación (Roshell 1978). Según la clasificación climática de Köppen, El Salvador está situado dentro del cinturón de lluvia tropical, con predominio de la tierra caliente, debido a su latitud y topografía predominantemente bajas (Alcaraz Ariza 2013).

Los productos agrícolas como la fresa, lechuga y repollo, necesitan ser importados de los países de Guatemala y Panamá, debido a la poca producción en El Salvador. Según el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) en El Salvador las importaciones para el año 2017 fueron 5,560,312 kg de fresa, 26,560,317 kg de lechuga y 63,842,571 kg de repollo; con un valor económico en fresa de USD\$ 853,592, lechuga USD\$ 2,210,053 y repollo USD\$ 3,094,076

(MAG 2018). A este hecho se une la agricultura empírica, con poca o escasa investigación en el área agroclimática.

La zonificación agroclimática es una técnica para determinar zonas o áreas potenciales para obtener rendimientos óptimos de los cultivos, tomando en cuenta los requerimientos climáticos y edáficos de los cultivos (IICA y PROMECAFE 1985). Una de las herramientas para llevar a cabo este proceso de zonificación son los Sistemas de Información Geográfica (SIG), que utilizan información básica y de campo para establecer mapas de zonificación, los cuales son de amplio uso a nivel mundial y por consiguiente a nivel nacional.

El presente trabajo consiste en determinar las áreas más favorables para el establecimiento y desarrollo de los cultivos de fresa, lechuga y repollo en el departamento de Chalatenango, El Salvador, para lo cual se recolectó información climática, edáfica y topográfica de la zona de estudio y los requerimientos edáficos y climáticos de los cultivos, para realizar una clasificación con la ayuda de un especialista en hortalizas. Luego se usó el método de la evaluación multicriterio, para construir una matriz con la

información completa recolectada que incluyó: temperatura media, pendiente y altitud de la zona de acuerdo a los criterios técnicos del especialista en clima y suelo. Para la zonificación, se utilizaron los SIG para desarrollar una serie de geoprocamiento con los mapas de pendiente, altitud y temperatura media, con ello se elaboró un mapa de zonificación por cultivo, conteniendo una base de información en tablas con códigos, integrado por tres números, presentando cada una de las variables mencionadas anteriormente, para obtener áreas no aceptables, aceptables y favorables para el establecimiento y desarrollo de los cultivos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación

La investigación se realizó en los meses de octubre

de 2017 a mayo de 2018, en el departamento de Chalatenango, El Salvador, conformado por 33 municipios; posee una extensión de 2,017 km² y una población de más de doscientos mil habitantes. Tiene zonas altamente productoras de hortalizas, como los municipios de San Ignacio y La Palma, entre otros, por su clima templado. Limita al norte con Honduras, al sur con el departamento de La Libertad, San Salvador y Cuscatlán, al sureste con Cabañas y al oeste con Santa Ana. Se encuentra en las coordenadas 14°10'23"N y -89°04'34"O.

Descripción del flujograma para la elaboración de la cartografía

El flujograma siguiente describe las actividades realizadas (Figura 1):

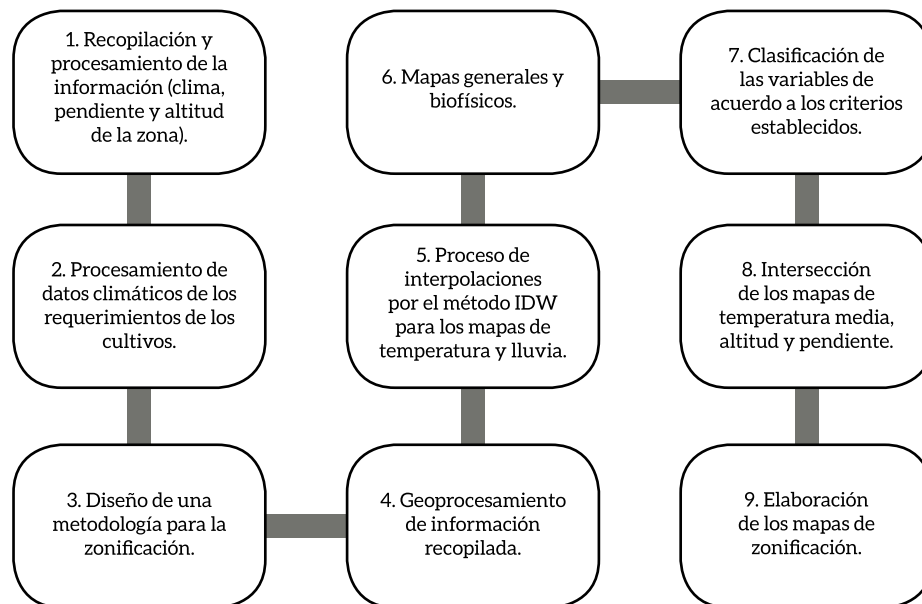


Figura 1. Flujograma de las actividades de trabajo para elaborar la cartografía.

Recopilación y procesamiento de los datos climatológicos, edafológicos y fisiográficos de los cultivos

El estudio consistió primero en la búsqueda y recolección de información de tipo climática de la zona para un período de 30 años (1985-2015), edafológica, fisiográfica y requerimientos edafoclimáticos de los

cultivos. La información fue procesada para analizar e identificar las zonas o áreas óptimas para el desarrollo de los cultivos de fresa, lechuga y repollo.

Según la Organización Meteorológica Mundial (OMM 2017), los años utilizados como un período de referencia para el estudio del clima fue con un promedio 30 años (1985 al 2015), usando datos de precipitación promedio anual (mm), temperatura

promedio anual (°C) y brillo solar promedio anual (horas/luz) de las estaciones meteorológicas.

La información edafológica se obtuvo del mapa del Levantamiento Pedológico de El Salvador (1:300,000) del año 1974, correspondiente a los Grandes Grupos de suelo para describir los suelos de la zona de estudio; las clases agrológicas o uso potencial, uso actual del suelo y fisiográficas a partir de curvas a nivel (año 1983) (escala 1: 25,000, a 10 metros de separación entre curvas con respecto a elevación) en formato

digital y mapas cartográficos en físicos.

Requerimientos edafoclimáticos y fisiográficos de los cultivos

A continuación, se presentan los requerimientos edafológicos, precipitación, brillo solar, temperatura y elevación de los cultivos (Cuadro 1, 2 y 3).

Cuadro 1. Requerimientos edafológicos de los cultivos

Cultivo	Textura	Drenaje	Materia orgánica	pH	Profundidad del suelo (cm)	Pendiente (%)
Fresa	Franco y Franco Arenoso	Bien drenado	Alto	5.7-6.5	> 25	0 - 40 %
Lechuga	Franco	Bien drenado	Alto	6.0-7.0	> 25	0 - 40 %
Repollo	Franco	Bien drenado	Alto	6.0-7.0	> 25	0 - 40 %

Fuente: IICA 2001, Quintero 1990, Fuentes y Pérez 2003.

Cuadro 2. Requerimientos de precipitación y brillo solar de los cultivos

Cultivos	Precipitación (mm/año)	Brillo solar (horas/luz)
Fresa	900-1500	12
Lechuga	1000-1200	12
Repollo	900-1200	12

Fuente: IICA 2001, Quintero 1990, Fuentes y Pérez 2003.

Cuadro 3. Clasificación de los requerimientos de temperatura y elevación de los cultivos

Cultivos	Temperaturas (°C)			Elevación (msnm)		
	Mínima	Optima	Máxima	Menor	Optima	Mayor
Fresa	10-12	14-18	24-28	1200-1300	1500-2000	2200-2500
Lechuga	10-14	16-20	22-28	600-800	1000-1500	1600-2500
Repollo	10-12	15-20	25-30	100-500	1800-2500	2600-3000

Fuente: elaboración propia

Metodología para la zonificación de cultivos

Para la zonificación de cultivos se estableció un proceso metodológico que consistió en asignar criterios para la agrupación de las variables que se toman en cuenta para el establecimiento y desarrollo de los cultivos. Para la agrupación se utilizaron los criterios por número y el calificativo (Gómez Delgado y Barredo Cano 2005), los cuales fueron:

No Aceptables (1): este criterio fue para cada una de las zonas con características que no cumplen con los requerimientos de los cultivos seleccionados.

Aceptables (2): este criterio se asignó a cada una de las zonas con características que pueden, con limitaciones o restricciones ser adecuadas o apropiadas para el desarrollo de los cultivos seleccionados.

Favorables (3): este criterio es para cada una de las zonas con características que cumplen con las exigencias para el buen desarrollo de los cultivos seleccionados.

Con la información de los requerimientos de los cultivos, se elaboraron los Cuadros 4, 5 y 6

Cuadro 4. Clasificación de pendientes

Nº	Pendiente	Criterio	Sistema de siembra
1	0 - 3 %	Plano ligeramente inclinado	Cultivo intensivo
2	3 - 5 %	Ondulado suave	
3	5 - 12 %	Ondulado	Cultivo intensivo con restricciones
4	12 - 26 %	Alomado	Cultivo con restricciones
5	26 - 35 %	Quebrado	Cultivos con mayor restricciones
6	35 - 70 %	Accidentado	No apto para los cultivos
7	> 70 %	Muy accidentado	

Fuente: Elaborado con base en UES (s.f.)

Cuadro 5. Clasificación de la elevación

Cultivo	Altitud (msnm)					
	Criterio	Favorable	Criterio	Aceptable	Criterio	No aceptable
Fresa	3	1500-2000	2	1200-1400;2100-2500	1	<1200, >2500
Lechuga	3	1000-1500	2	600-900;1600-2500	1	<600,>2500
Repollo	3	1800-2500	2	100-1700;2600-3000	1	<100, >3000

Cuadro 6. Clasificación de la temperatura media

Cultivo	Temperatura (°C)					
	Criterio	Favorable	Criterio	Aceptable	Criterio	No Aceptable
Fresa	3	14 - 18	2	10-13;19-28	1	Menores de 10 y mayores de 28
Lechuga	3	16 - 20	2	10-15;21-28	1	Menores de 10 y mayores de 29
Repollo	3	15 - 20	2	10-14;21-30	1	Menores de 10 y mayores de 30

Elaboración de la cartografía, según la metodología de la Evaluación MultiCriterio (EMC)

Por medio de la Evaluación MultiCriterio, se llevó a cabo el procedimiento para la zonificación con varias modificaciones, según especialistas se consensaron las variables a utilizar y se les aplicó esta metodología, con el objetivo de realizar una agrupación de las variables de los requerimientos de cada cultivo y se crearon criterios en números y calificativos (Cuadros 4, 5 y 6). Las capas con las variables de temperatura, altitud y pendiente, fueron seleccionadas para realizar la unión por atributos, lo cual generó una tabla con datos de tres dígitos, que se consideraron como códigos que fueron extraídos de una tabla resumen con la lista de las combinaciones o códigos por zona.

Con herramientas SIG, se elaboró la cartografía temática de tipo descriptiva, biofísica, edafológica referente a la zonificación para los cultivos de fresa, lechuga y repollo. Utilizando herramientas de geoprocetamiento y teniendo como base los mapas de pendiente, altitud y temperatura promedio en formato *raster*, se realizaron procedimientos para la elaboración de mapas de clases o rangos de cada una de las variables analizadas, con base a los requerimientos de cada cultivo mencionadas en los cuadros 4, 5 y 6, asignando una calificación correspondiente a “1” no aceptable, “2” aceptable y “3” favorable; el objetivo principal es asignar un valor cuantificable que sirven para evaluar el grado de idoneidad de las zonas respecto a los requerimientos específicos de cada cultivo (Gómez Delgado y Barredo Cano 2005), transformando los datos desde formato *raster* a formato de polígono, lo que simplificó la operación de integrar directamente al mapa para generar la calificación de cada variable.

Posteriormente, se utilizó el proceso de intersección de información para analizar las superposiciones de datos que generaron las unidades de mapeo o zonas, este procedimiento fue realizado para cada uno de los cultivos. Una vez generados los mapas resultantes, se analizó la tabla de atributos para identificar las

columnas con las calificaciones numéricas, como paso siguiente se procedió a unir las dentro de cada mapa resultante mediante concatenación de datos. El número resultante fue el correspondiente a cada zona, identificado con las diferentes características, ejemplo del código 333 (favorable para las tres variables: pendiente, altitud y temperatura).

Metodología de campo

Se realizaron encuestas con un tamaño de muestra del 5% de 638 productores salvadoreños de repollo y lechuga, dando como resultado encuestar a 32 productores de ambos cultivos. La muestra fue aleatoria. Una vez identificadas las zonas agroclimáticas, se realizaron las visitas a los productores, utilizando el tipo de formulario de la encuesta. La encuesta comprendió las generalidades de ubicación, preguntas acerca de la situación del uso del suelo, los rendimientos, superficie de siembra, variedades que se cultivan, sistema de siembra, número de cosechas por año y el manejo agronómico de los cultivos en estudio.

Se recopiló información por medio de las encuestas a los productores hortícolas en los municipios de San Ignacio y La Palma, para el caso del cultivo de fresa, las Figuras 2 y 3, fueron durante la participación del curso de manejo y procedimientos de hortalizas con enfoque orgánico en la cooperativa ACOPO de R.L. (Asociación de Productores Orgánicos) y CENTA (Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal “Enrique Álvarez Córdova”), Las Pilas, Chalatenango, El Salvador; además, de los cultivos de lechuga y repollo (Figura 3 y 4). Con el propósito de conocer el escenario respecto a la superficie, rendimientos y el manejo agronómico de los cultivos y cuáles son los problemas fitosanitarios y manejo agronómico para obtener las cosechas. Las variedades e híbridos de los cultivos más predominantes en El Salvador fueron:

- Fresa: Festival.
- Lechuga: Grand Rapid, FallGreer, Grandes Lagos, Green Towers, Alpha DMR, EM Aurora, Grandes

Lagos Juli y Súper 59.

- Repollo: Supertte, Copenhagen market, Izalco, Blue Vantage, Green Boy, Granadier, Fortuna, Nova, Tropicana-B, Bronco y Pacayas F-1.



Figura 2. Cultivo de fresa, La Palma, Chalatenango, El Salvador.



Figura 3. Cultivo de fresa, La Palma, Chalatenango, El Salvador.



Figura 4. Cultivo de repollo, La Palma, Chalatenango, El Salvador.



Figura 5. Cultivo de lechuga, La Palma, Chalatenango, El Salvador.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Zonificación agroclimática del cultivo de fresa

En la Figura 6, el mapa de zonificación agroclimática del cultivo de fresa muestra que las zonas favorables para el cultivo se encuentran en la zona alta y norte, las cuales se ubican en los municipios de Citalá, San Ignacio, La Palma y San Fernando. Castellanos Hernández y Arias (2013), indican que esta planta puede ser cultivada en zonas altas del país, Apaneca, Los Naranjos, zona El Trifinio en Metapán y cantón Las Pilas (San Ignacio) en Chalatenango, ya que estos lugares presentan temperaturas y elevaciones adecuadas para el desarrollo de este cultivo.

Los códigos representan diferentes zonas, clasificándose con número: (1) No Aceptable, (2) Aceptable y (3) Favorable. El código 112, posee una pendiente mayor del 35%, la altitud (1), menor a 1,200 y mayor a 2,500 msnm (1) y una temperatura media de 19 a 28°C (2), siendo el código con dos características no aceptables y una aceptable, con área de 69,880 Ha, la cual no es recomendable para el establecimiento del cultivo, debido a que posee una pendiente accidentada, baja o alta altitud y temperatura alta, provocando bajo crecimiento y desarrollo del cultivo, por lo que se pueden obtener bajos rendimientos, mientras en el código 333 posee pendientes de 0 a 26%, una altitud de 1,500 a 2,000 msnm y una temperatura promedio entre 14 a 18°C, indicando tres características favorables, con un área de 829 Ha, por lo cual son áreas recomendables para el buen desarrollo del cultivo.

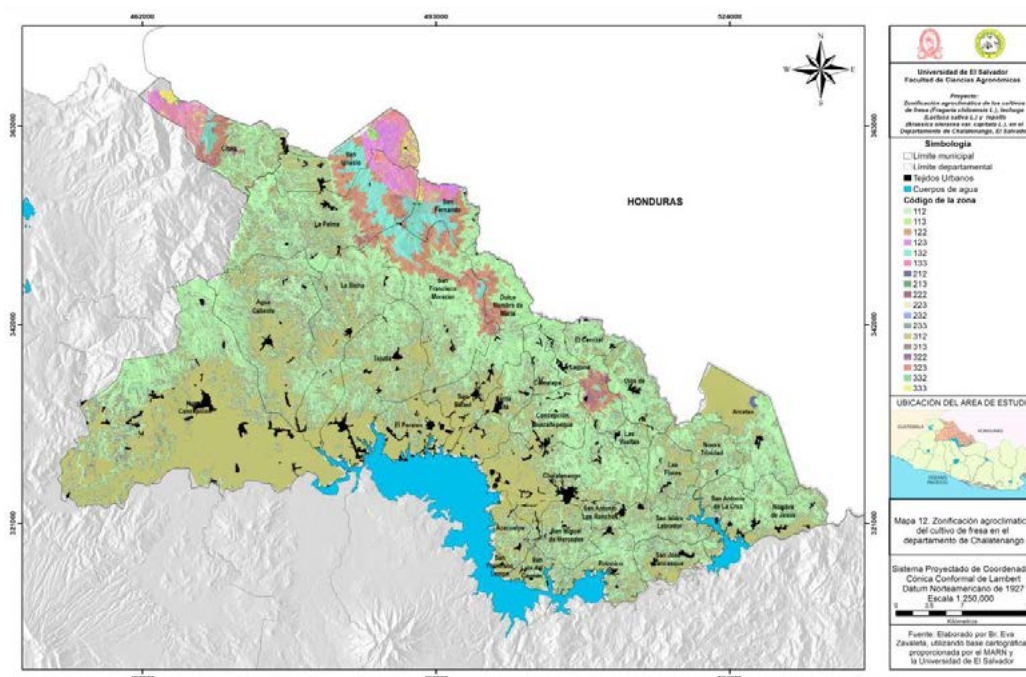


Figura 6. Mapa de zonificación agroclimática del cultivo de fresa

Zonificación agroclimática del cultivo de lechuga

En la Figura 7, el mapa de zonificación agroclimática para el cultivo de lechuga muestra que las zonas favorables para el cultivo se encuentran en la zona alta y norte, las cuales se ubican en los municipios de Citalá, San Ignacio, La Palma y San Fernando. El municipio de San Ignacio y La Palma cumplieron con el registro de los productores según del CENTA. Un ejemplo de esto según Campos *et al.* (2005), la lechuga se cultiva en la cooperativa ACOPO de R.L, la cual está ubicada en el cantón Los Planes, municipio de La Palma, departamento de Chalatenango, El Salvador, a una altura de 1800 msnm.

Los códigos representan diferentes zonas, clasificándose: (1) No Aceptable, (2) Aceptable y (3) Favorable. El código 112 posee un pendiente mayor del 35%, la altitud de menores a 600 y mayores a 2,500 msnm y una temperatura media de 21 a 28°C, siendo el código con dos características no aceptables y una aceptable, con un área de 32,528 Ha, la cual no es recomendable para el establecimiento del cultivo, debido a que posee una pendiente accidentada, baja o alta altitud y temperatura alta, provocando bajo

crecimiento y desarrollo del cultivo, por lo que se pueden obtener bajos rendimientos, mientras en el código 333, posee pendientes de 0 a 26 %, una altitud de 1,000 a 1,500 msnm y una temperatura promedio entre 16 a 20°C, estableciendo tres características favorables, con área de 607 Ha, por lo cual son áreas más recomendables para el buen desarrollo del cultivo.

Zonificación agroclimática del cultivo de repollo

En la Figura 8, la zonificación para el cultivo de repollo muestra que las zonas favorables para el cultivo se encuentran en la zona alta y norte, las cuales se ubican en los municipios de Citalá, San Ignacio, La Palma, San Fernando y San Francisco Morazán. El municipio de San Ignacio y La Palma cumplieron con el registro de los productores según del CENTA. Esto se corrobora con lo que dice Arévalo Landaverde y Mercedes (2004), quienes señalaron la rentabilidad económica de la producción de repollo y tomate en los municipios: La Palma y San Ignacio, representada por la zona alta de Chalatenango que se dedica al cultivo de hortalizas.

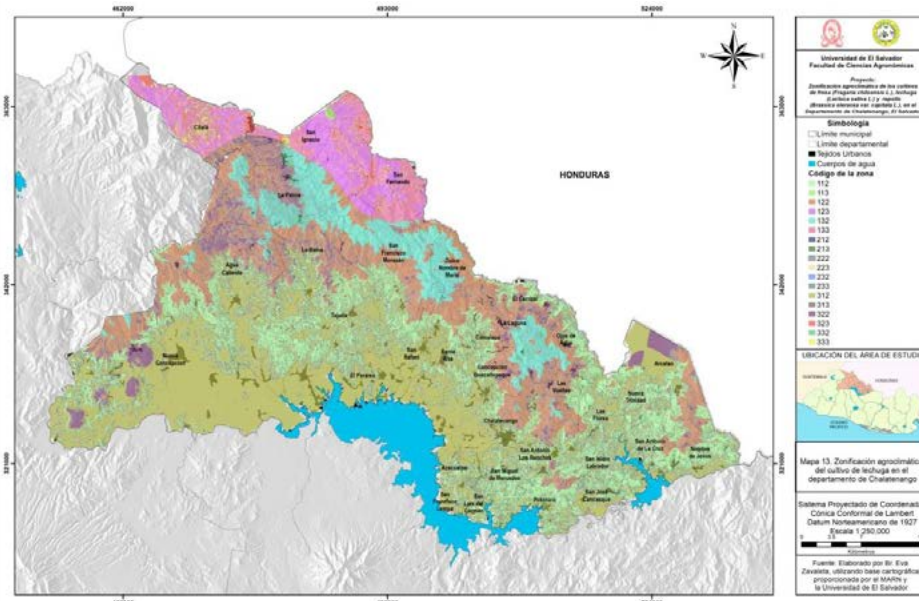


Figura 7. Mapa de zonificación agroclimática del cultivo de lechuga

Los códigos representan diferentes zonas, clasificándose con número: (1) No Aceptable, (2) Aceptable y (3) Favorable. El código 122 posee una pendiente mayor del 35%, la altitud de 100 a 1,700 o 2,600 a 3,000 msnm y una temperatura media de 21 a 30°C, siendo el código con una característica no aceptables y dos aceptables, con un área de 36,232 Ha, la cual no es recomendable para el establecimiento del cultivo, debido a que posee una pendiente

accidentada, baja o alta altitud y temperatura alta, provocando bajo crecimiento y desarrollo del cultivo de repollo, por lo que se pueden obtener bajos rendimientos, mientras en el código 333 posee pendientes de 0 a 26 %, una altitud de 1,800 a 2,500 msnm y una temperatura promedio entre 15 a 20°C, marcando tres características favorables, con un área de 1,319 Ha, por lo cual son áreas más recomendables para el buen desarrollo del cultivo.

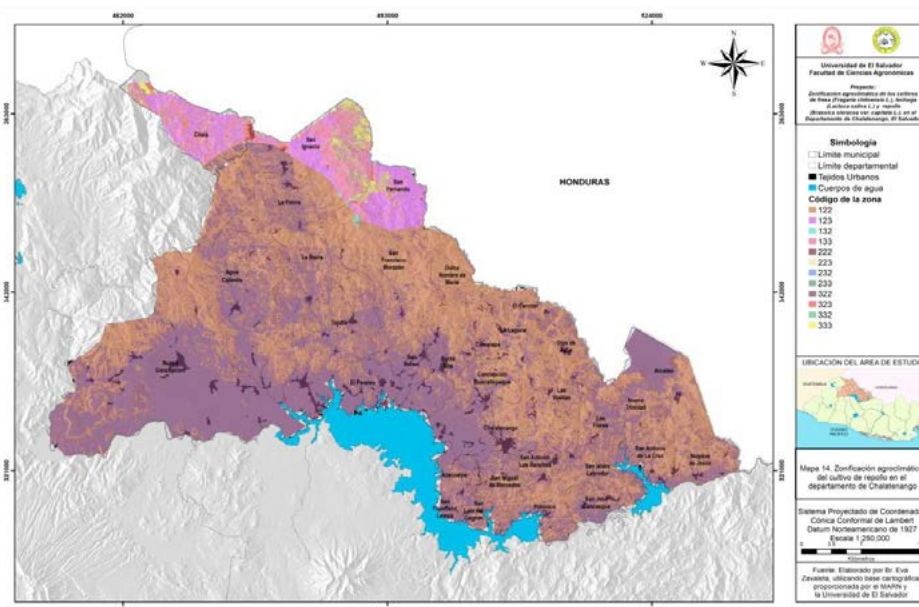


Figura 8. Mapa de zonificación agroclimática del cultivo de repollo.

Productores de repollo y lechuga

La Figura 9, muestra las zonas de producción de repollo y lechuga que fueron encuestadas y poseen el

apoyo de CENTA en el municipio de San Ignacio y La Palma, los cuales fueron 11 productores de lechuga y 21 productores de repollo.

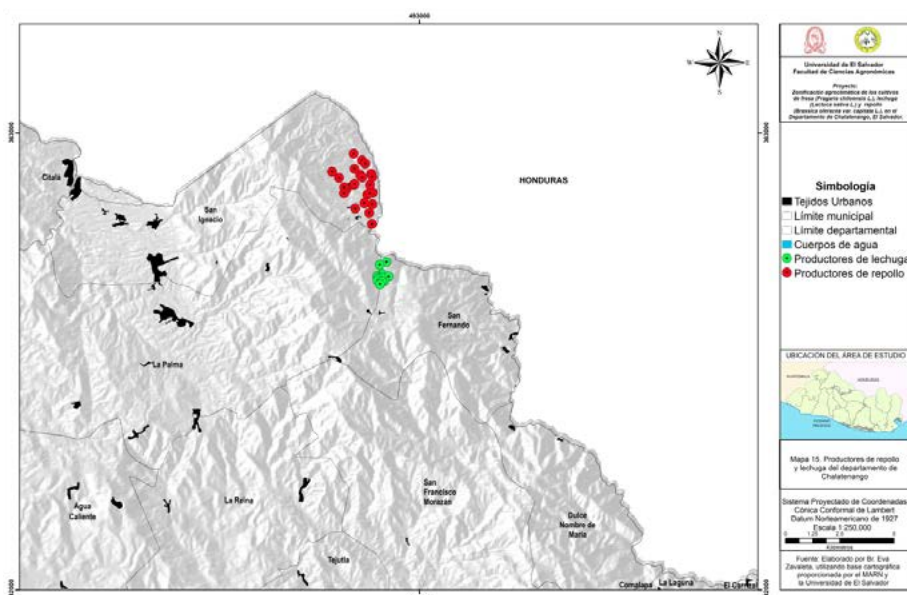


Figura 9. Mapa de los productores de repollo y lechuga

De acuerdo a los resultados de las encuestas, para el cultivo de repollo se obtuvieron 25 productores que poseen una superficie promedio de una manzana con un rendimiento de 8 camionadas (12,000 cabezas/mz) (una mz es igual a 0.7Ha) en el caso del híbrido Nova, con respecto al autor (Fuente y Pérez 2003) es de (11,900 cabezas/mz), por lo que los rendimientos consultados por la literatura cumplen con los productores encuestados.

En el caso del cultivo de lechuga de hoja, el rendimiento es de 9 lechugas/m² (62,892 lechugas/mz), con respecto al autor (Quintero 1900) es de 8

lechugas/m² (56,000 lechugas/mz), por lo tanto, los rendimientos de los productores encuestados son mayores de los que la literatura menciona, pero depende de la variedad y el sistema de siembra.

En las Figuras 10, 11, 12 y 13, se representan los resultados de los rendimientos y superficie de los productores encuestados de repollo y lechuga, con excepción del cultivo de fresa que se ha dejado de producir en el departamento de Chalatenango debido a crecimiento de plagas y enfermedades, entre otros aspectos.

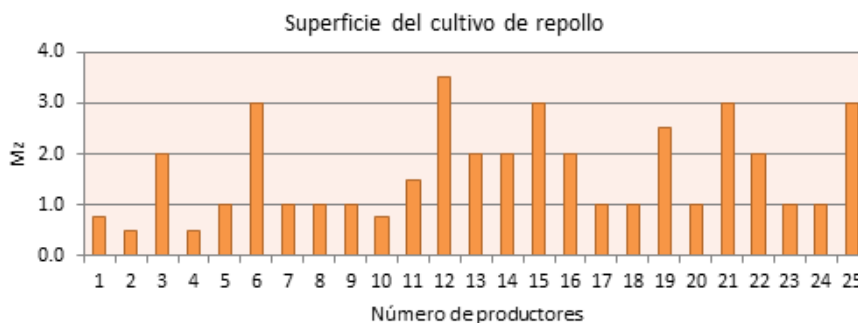


Figura 10. Superficie del cultivo de repollo en los municipios de San Ignacio y La Palma.

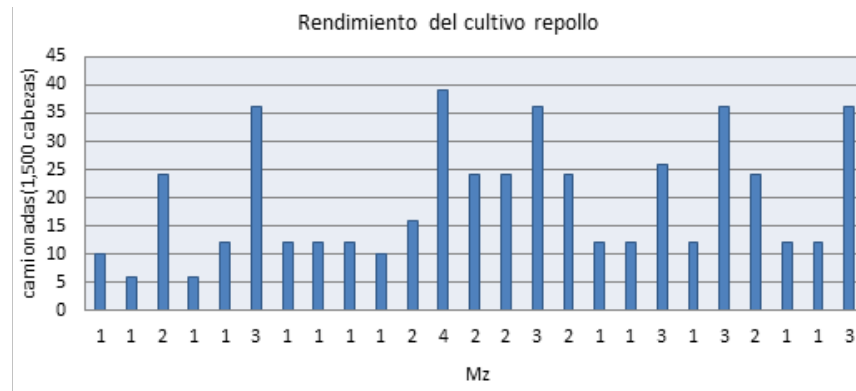


Figura 11. Rendimiento del cultivo de repollo en los municipios de San Ignacio y La Palma.

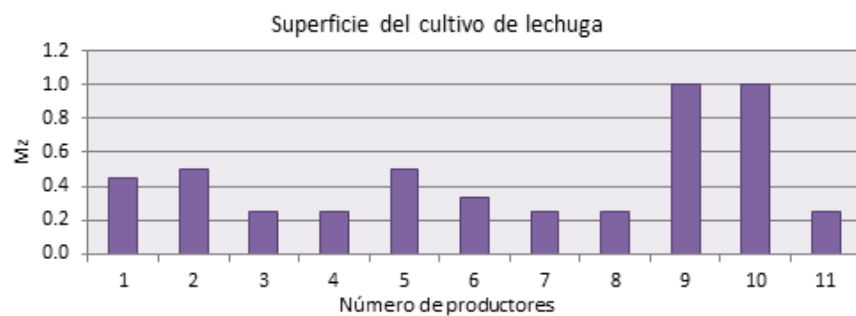


Figura 12. Superficie del cultivo de lechuga en los municipios de San Ignacio y La Palma.

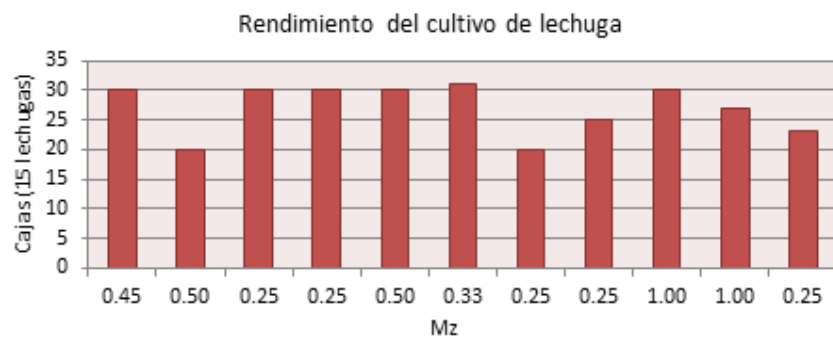


Figura 13. Rendimiento del cultivo de lechuga en los municipios de San Ignacio y La Palma.

CONCLUSIONES

El mapa de zonificación agroclimática del cultivo de fresa, lechuga y repollo muestra que las zonas favorables para el cultivo se encuentran en la zona alta y norte, las cuales se ubican en los municipios de Citalá, San Ignacio, La Palma, San Fernando y San Francisco Morazán de la República de El Salvador.

Los porcentajes de las áreas favorables para los

cultivos fueron: 0.5% (607 Ha) lechuga, 0.7% (829 Ha) fresa y 1.5% (1,319 Ha) repollo del área en el departamento de Chalatenango, El Salvador.

El estudio mostró áreas con pendientes muy inclinadas, no adecuadas para ser cultivables con estas hortalizas, las cuales representan un 57% en fresa, 26% en lechuga y 42% en repollo del departamento de Chalatenango, El Salvador.

La ubicación de los productores de repollo y lechuga encuestados, coincidió con las áreas favorables de la zonificación de los cultivos.

La metodología propuesta de la evaluación multicriterio con las variables fisiográficas y temperatura, permitió elaborar los mapas de zonificación de las condiciones favorables, aceptables y no aceptables para el desarrollo de los cultivos y validado en campo a través de los productores encuestados.

BIBLIOGRAFÍA

- Alcaraz Ariza, FJ. 2013. Bioclimatología. Universidad de Murcia. España. 16 p.
- Arévalo Landaverde, Mercedes M. 2004. Estudio de la rentabilidad económica del repollo (*Brassica oleracea, var capitata*) y tomate (*Lycopersicon sculentum, Mill*) para los agricultores de la zona alta de San Ignacio y La Palma, Chalatenango. Tesis Ph.D. San Salvador, Universidad de El Salvador. 106 p.
- Campos JR; Rodríguez Flores HE; Salinas Guerrero RE. 2005. Caracterización y Evaluación de la Sostenibilidad de la Producción Orgánica de ACOPO de R.L. En Los Planes, Chalatenango. Tesis Ing. San Salvador. Universidad de El Salvador. 207 p.
- Castellanos Hernández PA y Arias, LL. 2013. Solución tecnológica para la producción de plantines de fresa (*Fragaria x annassa*). Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal (CENTA), La Libertad, El Salvador. 8 p.
- Fuentes, FE; Pérez J. 2003. Guía técnica del cultivo del repollo. CENTA (Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal "Enrique Álvarez Córdova"), La Libertad, El Salvador. 36 p.
- Gómez Delgado M. y Barredo Cano JI. 2005. Sistemas de Información Geográfica y Evaluación Multicriterio en la ordenación del territorio. 2 ed. México D.F. México. Alfaomega Ra-Ma. 247 p.
- IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, Costa Rica) y PROMECAFE (Programas Cooperativo Regional para la Protección y Modernización de la Caficultura, El Salvador). 1985. Memoria del curso internacional sobre agroclimatología. San Salvador. El Salvador. 137 p.
- IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, Costa Rica) 2001. El cultivo de fresa (*Fragaria spp*). San José, Costa Rica. 11 p.
- MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería, El Salvador). 2018. Anuario de estadística agropecuario 2017-2018. Dirección de Estadísticas Agropecuaria (DEA). San Salvador, El Salvador. 76 p.
- OMM (Organización Meteorológica Mundial). 2017. Directrices de la Organización Meteorológica Mundial sobre la generación de un conjunto definido de productos nacionales de vigilancia del clima. N° 1204. Suiza. 13 p.
- Quintero, J. 1990. El Cultivo de la Lechuga. Ministerio de Agricultura y Ganadería, El Salvador. 20 p.
- Roshell F. 1978. El uso de la agrometeorología en la zonificación de los cultivos. Bogotá, Colombia. 14 p.
- UES (Universidad de El Salvador). s.f. Clasificación por capacidad de uso en El Salvador Facultad de Ciencias Agronómicas. UES, San Salvador, El Salvador.



Pronunciamiento de la Facultad de Ciencias Agronómicas

La Universidad de El Salvador a través de la Facultad de Ciencias Agronómicas, ante la pandemia del **COVID -19** que afecta por igual a todos los sectores de la población y en particular al sector agropecuario, a la opinión publica expresa:

La Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador, concurrente a las disposiciones emanadas del Gobierno Central, relativas a todas aquellas acciones con la prioridad a la contención y fortalecimiento del sistemas sanitario y convencidos que las consecuencias producto de la pandemia COVID -19, afectará drásticamente entre otros al sector agrícola y subsectores a corto, mediano y largo plazo, trayendo como consecuencia el desabasto y acceso a productos derivados de tan importante sector de producción y que incidirán en el suministro, acceso y demanda de alimentos. Esta situación hace necesaria adoptar medidas versátiles orientadas a proteger a la población vulnerable que comparten el sector agropecuario.

Aun cuando las medidas de prevención durante Estado de Emergencia por COVID-19 para este sector han sido flexibles; el abastecimiento y abasto, así como los precios de venta, acceso a los suministros que forma parte de la cadena de producción, han estado afectados; por un lado, debido a la reducción significativa en el precio de compra de los productos, como también un incremento de precios de venta al consumidor final. Lo anterior plantea entre otros aspectos, que el abastecimiento de alimentos, no garantiza la seguridad alimentaria y nutrición de la población. Al respecto, la FAO enuncia que la escasez de fertilizantes, medicamentos veterinarios y otros insumos podría afectar a la producción agrícola. La demanda de productos frescos y pesquero se verían disminuidos, lo que afectaría a los productores y proveedores; en este contexto los medianos, pequeños y micro agricultores salvadoreños son particularmente vulnerables.

Muchos agricultores salvadoreños observan que no pueden desplazarse a los mercados a comercializar los productos que están cosechando en sus fincas, ya que los medios de transporte público son limitados, trasladan personas, pero no la carga con sus hortalizas, frutas, productos lácteos; además, muchos campesinos y trabajadores agrícolas, por temor a la enfermedad, no quieren y no pueden trasladarse a las fincas a realizar las diferentes actividades que los cultivos y el sector agropecuario demanda. Lo que aunado a la posible rigidez de las medidas de prevención y estando a las puertas de iniciar el ciclo agrícola (mayo a junio), considerando los rubros que ya se encuentran en marcha, limitaría que agricultores, ganaderos, pescadores, acuicultores y agroindustriales entre otros, puedan preparar condiciones productivas en sus terrenos para la siembra de los diferentes cultivos entre ellos los granos básicos (maíz y frijol), producción cárnica y avícola; componentes importantes de la dieta alimenticia salvadoreña; por lo que la producción y abasto incidirán negativamente en la cadena de valor, cadenas de suministro de alimentos frescos, generando pérdidas; ello implica frenar la capacidad productiva de todos los productos y sus derivados tanto agrícolas como pecuarios, pesqueros y acuícolas.

En consecuencia, a lo anterior, la Facultad de Ciencias Agronómicas, considera que la producción alimenticia no debe ser dependiente de los alimentos provenientes de los países vecinos, por ello razona que además de las medidas sanitarias que se están tomando en la cuarentena, también es importante garantizar alimentos sanos para la buena salud de la población, generando otro frente de resistencia contra el COVID-19.

Por tanto, como centro de formación superior en solidaridad con el pueblo salvadoreño nos permitimos impulsar la estrategia de agricultura familiar, como

alternativa para garantizar que cada familia tenga acceso, disponibilidad y continuidad de alimentos sanos en el área urbana y rural.

Queremos hacer un llamado a la sociedad salvadoreña y al sector agropecuario, a unirnos y acompañar desde nuestras capacidades a esta cruzada por la vida y la salud, atendiendo las disposiciones que conlleven al aseguramiento de una sociedad menos vulnerable y cumplir con los preceptos que mandata nuestra magna constitución, a través de acciones que mitiguen situaciones vulnerables en el ámbito alimentario y nutricional. En este contexto se proponen:

- Preparar a la población en general bajo el concepto de salud integral, seguridad y nutricional.
- Introducir la diversificación de cultivos para que les permita a los agricultores de subsistencia producir para su consumo y venta de sus excedentes.
- Incentivar a la población a producir sus alimentos bajo condiciones de recursos limitados.
- Utilizar pequeños espacios existentes en el patio de las casas o áreas verdes para producir alimentos especialmente hortalizas de ciclo corto y con enfoque orgánico.
- En comunidades periurbanas donde poseen mayores áreas donde cultivar, sembrar granos básicos utilizando semillas criollas para que puedan volver a sembrar dichos cultivos con las mismas semillas.
- Utilizar la producción hidropónica en la producción de hortalizas en zonas urbanas con poco espacio.
- Facilitar una estrategia de producción escalonada por grupo familiar produciendo la alimentación del territorio
- Capacitar a los habitantes de áreas urbanas y periurbanas para implementar estos modelos de producción más sostenibles: agricultura periurbana, agroecología.
- Elaborar un censo de comunidades donde existan los productores y productoras que posean áreas de terrenos con superficies de hasta 2 mz y que se dediquen a la agricultura de subsistencia, a fin de comprobar el nivel de tecnología que utilizan para la producción y el destino de lo producido para determinar si tienen excedentes de sus cosechas.
- Implementar tecnologías basadas en Sistemas de Información Geográfica para desarrollar bases de datos espaciales que proporcionen información valiosa como social, económica y ambiental para la caracterización y el manejo de fincas a nivel nacional con la colaboración de organizaciones con presencia territorial como Catholic Relief Services (CRS), Fundación para el Desarrollo Socioeconómico y Restauración Ambiental (FUDESYRAM), Ministerios, entre otras.
- Identificar los alimentos de mayor utilización que son producidos por mano de obra familiar.
- Identificar zonas de recarga hídrica y potenciales fuentes de abastecimiento de agua que permitan la producción de alimentos en períodos de sequía en la estación lluviosa y seca, así como de contar con un programa de asistencia técnica que oriente a los productores a utilizar las tecnologías y contactos con mercados.
- Identificar los cultivos especialmente hortalizas de ciclo corto que se utilicen en la alimentación escolar y de las comunidades para lograr un beneficio educativo y de alimentación.
- Formular o fortalecer proyectos de atención a las escuelas en el rubro de Huertos Escolares y que se disponga de fondos para la obtención de insumos para su utilización en dichos huertos, generando en los estudiantes una nueva cultura de respeto al medioambiente, salud y nutrición.
- Promover la utilización de tecnologías de bajo costo para el procesamiento de frutos perecederos y de la producción animal, salud

animal, tecnología de manejo integrado de plagas, diferentes sistemas de riego para pequeños agricultores, entre otros.

- Desarrollar programas de investigación de sostenibilidad en aquellas experiencias exitosas que han logrado mostrar su resiliencia ante eventos climáticos, viables económicamente y culturalmente.
- Involucrar a estudiantes de las diferentes carreras de Pregrado y Posgrado en el desarrollo de acciones y programas mediante la implementación de sus capacidades de formación al servicio de la población mediante el desarrollo del servicio social y proyectos varios.

Con lo anterior, la Facultad de Ciencias Agronómicas, considera que es importante aplicar una estrategia nacional que involucre los aspectos siguientes:

- En el ámbito nacional y considerando que en el Comité de Agricultura Familiar ha propuesto al Ministerio de Agricultura y Ganadería un anteproyecto de Ley de Agricultura Familiar con énfasis en la Agroecología; es preciso debatir y consensuar esta opción de desarrollo para aspirar a la sostenibilidad alimentaria, tomando como aprendizaje la existencia de programas y proyectos de organizaciones nacionales e internacionales que por años han promovido la agroecología y seguridad alimentaria.
- Instar al Gobierno Central de El Salvador retomar las políticas de conservación de suelos y agua ya elaboradas por varias organizaciones con representantes del gobierno para fortalecer los agroecosistemas que se verán afectados ante un manejo intensivo por incrementar la producción de alimentos; así como promover la organización y ejecución a través de las alianzas con SIADES MAOES, CNAF y grupos de especialistas afines independientes entre otros; Generar Alianzas, Programas y proyectos de emergencia con PMA, y organismos internacionales aliados con la Facultad de Ciencias Agronómicas.

- Promover la agricultura urbana agroecológica, haciendo uso de los recursos disponibles a nivel de cada familia y la orientación técnica de la UES y aprovechando la experiencia de los huertos caseros familiares promovidos por las ONG locales, nacionales e internacionales, para el logro del consumo de alimentos sanos fortaleciendo así a las personas a que estén mejor preparadas inmunológicamente.
- Acompañar a las familias rurales con asistencia técnica y establecer un inventario real de las variedades de semillas criollas que son altamente resistentes y que demandan el mínimo de recursos para producir.
- Como medida inmediata, dotar de algunos insumos de producción (semillas, abonos orgánicos, entre otros) a los productores para que sigan sembrando durante esta crisis, pues si ellos se detienen, la curva de la crisis será peor. Entonces, ante la actual situación es urgente potenciar la producción a toda escala, para evitar el desabastecimiento y la incertidumbre alimentaria y nutricional.

Finalmente, a nuestros estudiantes, a participar en el llamado para contribuir en la formación técnica de los productores y productoras a fin de minimizar los efectos adversos que se avecinan, en la lógica del cumplimiento de la misión encomendada por nuestra universidad y Facultad ***“Formar profesionales en las ciencias agropecuarias, capaces de incidir mediante el uso del conocimiento científico y tecnológico en la solución de problemas agroambientales, con criterios de sostenibilidad, solidaridad, ética y bienestar social”***.

Por una universidad al servicio de la nación.

“HACIA LA LIBERTAD POR LA CULTURA”

San Salvador, abril de 2020.

Normas de publicación en Revista Agrociencia

Estructura del Artículo Científico

Para la publicación de los resultados de investigación en Revista Agrociencia, es óptimo contar una estructura eficaz y acorde con las necesidades concretas. Existen varios tipos, pero para esta publicación, se regirá con la estructura clásica del artículo científico.

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 componente describe el contenido (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.

Se recomienda un promedio de 14 palabras para el título (9 mínimo a 20 como máximo), 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

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. Los docentes directores de tesis deberán estar al final del total de autores del artículo.

Después del nombre y apellido de cada autor hay que colocar un número arábigo como superíndice, para indicar la institución a la que pertenece o su afiliación.

Resumen y palabras claves

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. 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..."

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" (Keywords) 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 elegir las 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”.

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. En esta sección, además de los textos, se pueden presentar cuadros, figuras o ilustraciones, para ello hay que utilizar el medio más claro, adecuado y económico, y deben citarse respectivamente.

La secuencia de redacción es 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 y se debe evitar el uso de voz pasiva. Las ideas deben ser concretas. 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.

Se sugiere 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 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 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. Bibliografía

En Revista Agrociencia 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.

6. Agradecimientos (opcional)

Es aplicable a instituciones que apoyaron la investigación.

7. Redacción de cuadros, figuras y texto

Cuadros:

Deben tener un título breve y claro de manera que indique sin dificultad qué es lo que se

informa en él y deberá estar en la parte superior del cuadro. Para los cuadros que llevan notas al pie, 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 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, en fuentes Arial o Times New Roman, tamaño 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, excepto en unidades de medida.



Contacto: revista.agrociencia@ues.edu.sv
Facultad de Ciencias Agronómicas
Universidad de El Salvador
ISSN: 2522-6509