



AGROCIENCIA

Cultivando el conocimiento para un mejor futuro



Año IV
No. 17



AUTORIDADES ACADÉMICAS

Universidad de El Salvador

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

Ing. Agr. M.Sc. José Miguel Sermeño Chicas
Secretario de Investigaciones Científicas
Director Ejecutivo, Consejo de Investigaciones Científicas

Facultad de Ciencias Agronómicas

Dr. Francisco Lara Ascencio
Decano

Ing. Agr. Ludwing Vladimir Leyton Barrientos
Vicedecano

Ing. Agr. Balmore Martínez Sierra
Secretario

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

COMITÉ EDITORIAL

Editor en jefe

José Miguel Sermeño Chicas
Secretario de Investigaciones Científicas
Director Ejecutivo, Consejo de Investigaciones Científicas
jose.sermeno@ues.edu.sv

Editor adjunto

Isidro Galileo Romero Castro
Secretaría de Investigaciones Científicas (SIC-UES)
isidro.romero@ues.edu.sv

Editor gráfico

Luis Alberto Sánchez Alfaro
Secretaría de Investigaciones Científicas (SIC-UES)
luis.alfaro@ues.edu.sv

Correctores de estilo

Cristina Isabel Guzmán Cruz
Secretaría de Investigaciones Científicas (SIC-UES)
cristina.guzman@ues.edu.sv

Selvin Mauricio Montano Quintanilla
Secretaría de Investigaciones Científicas (SIC-UES)
selvin.montano@ues.edu.sv

Soporte tecnológico e informático

Saúl Antonio Vega Baires
Secretaría de Investigaciones Científicas (SIC-UES)
saul.vega@ues.edu.sv

COMITÉ CIENTÍFICO

Fidel Ángel Parada Berrios
Departamento de Fitotecnia, Facultad de Ciencias Agronómicas,
Universidad de El Salvador.
fidel.parada@ues.edu.sv

Blanca Eugenia Torres de Ortiz
Departamento de Zootecnia, Facultad de Ciencias Agronómicas,
Universidad de El Salvador.
blanca.bermudes@ues.edu.sv

Rudy Anthony Ramos Sosa
Departamento de Química Agrícola, Facultad de Ciencias
Agronómicas, Universidad de El Salvador.
antonioeshcal@yahoo.com

Miguel Ángel Hernández Martínez
Departamento de Recursos Naturales y Medio Ambiente, Facultad
de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador.
miguel.hernandez@ues.edu.sv

Ma. Mónica Lara Uc
Profesora-Investigadora, Universidad Autónoma de Baja California
Sur, La Paz, Baja California Sur, México.
mlara@uabcs.mx

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

Andrea L. Joyce
Assistant Professor, University of California, Merced. United States.
ajoyce2@ucmerced.edu

Mario Ernesto Parada Jaco
Laboratorio de Parasitología Vegetal, Centro Nacional de Tecnología
Agropecuaria y Forestal (CENTA).
paradaja2011@hotmail.com

Aisur Ignacio Agudo Padrón
Gerente Investigador del Projeto Brasileiro Autônomo "Avulsos
Malacológicos - AM, Brasil.
ignacioagudo@gmail.com

Luis A. Mejía
Adjunct Professor, Department of Food Science and Human
Nutrition University of Illinois, Urbana-Champaign
lamejia@illinois.edu

José Rutilio Quezada
Consultor Internacional, Manejo Integrado de Plagas y Control
Biológico, Estados Unidos
bachi930@gmail.com

Randy Atencio Valdespino
Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá.
randy.atencio@gmail.com

Universidad de El Salvador

Final Avenida Mártires del 30 de Julio de 1975, Ciudad
Universitaria "Dr. Fabio Castillo Figueroa", San Salvador, El
Salvador.

Teléfonos

Facultad de Ciencias Agronómicas: (503) 2225-1506
Secretaría de Investigaciones Científicas: (503) 2225-8434

Correos electrónicos

revista.agrociencia@ues.edu.sv
ciencias.agronomicas@ues.edu.sv
sic@ues.edu.sv

URL de la revista

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

Revista Agrociencia es el medio oficial de difusión científica de la Facultad de Ciencias Agronómicas, gestionada con apoyo de la Secretaría de Investigaciones Científicas de la Universidad de El Salvador (SIC-UES), que cumple con los principios de acceso abierto. Su periodicidad es cuatrimestral y se publica en los meses de abril, agosto y diciembre de cada año. Es gratuita, pues Agrociencia no cobra a los autores tarifas de envío y procesamiento editorial de los artículos que se publican. Acepta manuscritos de las ciencias agropecuarias, forestales, veterinarias, agroindustria, medio ambiente y seguridad alimentaria de forma continua.

Los autores son los únicos responsables de las opiniones expresadas en sus textos, que no necesariamente reflejan la opinión o política de la Universidad.

Los textos académicos que la revista admite son artículos científicos, notas técnicas, estudio de casos y revisiones bibliográficas. Si desea publicar en Revista Agrociencia, puede enviar su texto a: revista.agrociencia@ues.edu.sv



AGROCIENCIA es una revista con licencia creative commons 4.0 CC BY: <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.es>



Fotografías de portada:

Ing. Agr. M.Sc. José Miguel Sermeño Chicas

- 6** Desarrollo de ecuación alométrica para estimar carbono en café (*Coffea arabica* L.) de media altura en el Municipio de Comasagua, Cordillera del Bálsamo, El Salvador
- 20** Relación entre el diámetro del folículo pre-ovulatorio con el porcentaje de preñez en vacas encastadas sometidas a un protocolo de sincronización de celo en el municipio de San Miguel, San Miguel, El Salvador
- 30** Insectos y arácnidos asociados a la parte aérea del cultivo de ajonjolí (*Sesamum indicum* L.) en la Estación Experimental y de Prácticas de la Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador
- 47** Estudio de la dinámica poblacional del psílido asiático de los cítricos (*Diaphorina citri*: Hemiptera: Psyllidae) en el cultivo de Limón Pérsico (*Citrus latifolia* Tanaka) en tres fincas comerciales del municipio de San Juan Opico, La Libertad, El Salvador
- 56** Desarrollo de tres fórmulas de embutido escaldado a base de carne de conejo y su efecto en su composición nutricional y características organolépticas
- 69** Manejo fitosanitario de la marchitez bacteriana (*Ralstonia solanacearum* E.F. Smith) del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill)
- 81** Evaluación de cinco fuentes alimenticias en la reproducción de caracoles de agua dulce (*Pomacea flagellata* Say, 1827)
- 92** Análisis de la deformación del volcán de San Miguel mediante técnica GPS posterior al proceso eruptivo iniciado en diciembre de 2013
- 114** Efecto de tres selladores de barrera sobre la incidencia de mastitis subclínica y la evaluación de resistencia a antibióticos de tres bacterias patógenas en dos lecherías en el municipio de Caluco, Sonsonate, El Salvador
- 131** Caracterización y evaluación de la sostenibilidad de la cadena de producción de marañón orgánico (*Anacardium occidentale*), en la zona del bajo Lempa, departamento de San Vicente, El Salvador



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

Artículo de investigación

Desarrollo de ecuación alométrica para estimar carbono en café (*Coffea arabica* L.) de media altura en el Municipio de Comasagua, Cordillera del Bálsamo, El Salvador

Development of an allometric equation to estimate carbon in coffee (*Coffea arabica* L.) of medium height in the Municipality of Comasagua, Cordillera del Bálsamo, El Salvador

Marroquín-Castro R.A.¹, Sánchez-Hernández J.A.¹, Urías-Fernández R.A.¹, Quintanilla-Quintanilla J.R.², Arias de Linares A.Y.³ Palacios-Hernández D.J.⁴

Correspondencia:
mc11134@ues.edu.sv
uf12001@ues.edu.sv
arnher16@gmail.com

Presentado:
26 de octubre de 2020
Aceptado:
14 de noviembre de 2020

- 1 Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias Agronómicas, Departamento de Recursos Naturales y Medio Ambiente.
- 2 Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias Agronómicas, Departamento de Fitotecnia, Docente asesor.
- 3 Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias Agronómicas, Departamento de Química Agrícola, Docente asesor.
- 4 Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias Agronómicas, Departamento de Recursos Naturales y Medio Ambiente, Docente asesor.

RESUMEN

La investigación se realizó en cuatro fincas del municipio de Comasagua, departamento de La Libertad, El Salvador, ubicadas entre 800 a 1,200 metros sobre el nivel del mar; durante agosto de 2018 a febrero 2020. El objetivo principal fue desarrollar una ecuación alométrica que permita estimar la biomasa y el carbono de las plantas de café. El método aplicado para realizar el levantamiento de información de campo fue el destructivo; este consistió en seccionar cada uno de los 72 arbustos en sus partes principales: raíz, tocón, rebrotes, bandolas, hojas, flores y frutos, según su fenología. Los análisis de humedad parcial y densidad específica de madera se realizaron en el Laboratorio de Química Agrícola y el Laboratorio de Suelos de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador. El registro y manejo de datos dasométricos y de laboratorio, se desarrollaron con la aplicación Open Data Kit® (ODK®), diseñando un formulario para registrar las variables: altura total de la planta, altura de rebrotes, altura de tocón, diámetro a 15 centímetros del tocón, diámetro a la base de los rebrotes, peso húmedo y peso seco de las secciones. El análisis de laboratorio implicó tomar una sub muestra de cada sección para determinar la humedad parcial y densidad específica de madera en tocón y rebrotes. El análisis estadístico se realizó utilizando el software IBM SPSS® Statistics 23 y Excel® con el complemento estadístico XLSTAT® 2019. Se realizaron diferentes pruebas con el fin de comprobar la normalidad de las variables. Mediante análisis de regresión se desarrollaron diferentes modelos combinando la variable dependiente e independiente, hasta lograr uno apropiado al fenómeno estudiado. La biomasa seca arriba del suelo está compuesta por el tocón más rebrotes, bandolas, hojas, flores y frutos. La variable dependiente en el modelo para tocón fue la biomasa seca en kilogramos y las variables independientes comprendieron el diámetro a 15 centímetros de la base y la altura en metros; para el modelo de rebrotes se relacionaron las variables biomasa seca de rebrotes más bandolas, hojas en kilogramos y el diámetro de la base en centímetro. Se obtuvieron como resultado dos modelos de regresión de potencia el de tocón con un R²

= 0.692 ($p < 0.01$). El de rebrotes con un $R^2 = 0.914$ ($p < 0.01$). Esto mediante la verificación del gráfico de regresiones y el resumen de ajuste de los modelos

Palabras claves: Ecuación alométrica, café, biomasa, carbono, densidad gravimétrica, modelo alométrico, factor de forma, carbono fijado, CO_2 fijado.

ABSTRACT.

The research was conducted during August 2018 to February 2020 in four farms in the municipality of Comasagua, department of La Libertad, El Salvador, located between 800 to 1,200 meters above sea level. The main objective was to develop an allometric equation to estimate the biomass and carbon content of coffee plants. A destructive method was used to collect the field information. It consisted of sectioning each of 72 coffee shrubs into their main parts: root, stump, sprouts, branches, leaves, flowers and fruits, according to their phenology. Analyzes of partial moisture and specific density of wood were carried out in the Agricultural Chemistry Laboratory and the Soil Laboratory of the Faculty of Agronomic Sciences of the University of El Salvador. Registration and management of dasometric and laboratory data were carried out using an Open Data Kit® (ODK®) application. A form was designed to record: v total height of the plant, height of sprouts, stump height, diameter at 15 centimeters from the stump, diameter at the base of the shoots, wet weight and dry weight of the sections. The laboratory analysis involved taking a subsample from each section to determine partial moisture and specific wood density in stumps and sprouts. The statistical analysis was carried out using the IBM SPSS® Statistics 23 and Excel® software, with the statistical complement XLSTAT® 2019. Different tests were conducted in order to check the normality of the variables. Through regression analysis, different models were developed combining the dependent and independent variable, until achieving an appropriate regression equation related to the phenomenon being studied. The above-ground dry biomass was composed of the stump plus sprouts, branches, leaves, flowers and fruits. The dependent variable in the model for stump was the dry biomass in kilograms and the independent variables included the diameter at 15 centimeters from the base and the height in meters. For the regrowth model, the variables were related to the dry biomass of regrowths plus branches, leaves in kilograms and the diameter of the base in centimeters. After validation of the regressions in the graph and considering the best fit of the curves, two power regression models were obtained: the stump with an $R^2 = 0.692$ ($p < 0.01$) and the regrowth with an $R^2 = 0.914$ ($p < 0.01$).

Key words: Allometric equation, coffee, biomass, carbon, gravimetric density, allometric model, form factor, fixed carbon, fixed CO_2 .

INTRODUCCIÓN

El café en El Salvador se clasifica de acuerdo a su altura sobre el nivel del mar: café de bajío, media altura y estricta altura (Arévalo y Méndez 2011). La zonificación por regiones, se encuentra dividida en seis cordilleras: Apaneca-Ilamatepec, Alotepec-Metapán, Bálsamo-Quezaltepec, Chinchontepec, Tecapa-Chinameca y Cacahuatique (CSC 2017). Con un área cultivada de 174,833.51 ha en total, que representa el 8.29% de la cobertura de bosque de café a nivel nacional (MARN 2018).

Según la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, este se define como “cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana, que altera la composición de la atmósfera global y que se suma a la variabilidad

natural del clima observada durante períodos de tiempo” (Benavides y León 2007).

De 2005 a 2010, en la biomasa forestal el carbono ha disminuido, debido a la pérdida de bosques (Ruiz *et al.* 2014). La biomasa es la capacidad existente en los diferentes componentes de los ecosistemas para acumular o almacenar materia orgánica en diferentes periodos de tiempo (Cuenca *et al.* 2014). Los inventarios de carbono en cafetales son estimaciones que permiten ilustrar el potencial de los cafetales arbolados como sumideros de Carbono (Filho y Abarca 2008). Fisiológicamente la asimilación fotosintética de CO_2 , es el primer paso para la producción de nueva biomasa (Azcón-Bieto y Talón 2000).

Los modelos alométricos ayudan al cálculo de la biomasa de grandes áreas forestales (Solano *et al.*

2014). El método más accesible para obtener una estimación de la biomasa de un árbol consiste en utilizar la relación existente entre el diámetro del árbol y de la biomasa. En este nivel las ecuaciones entran en juego. La alometría estudia las relaciones de las características dimensionales de los individuos en una población (Sola *et al.* 2012). En este contexto, existen dos métodos para medir y estimar la biomasa arbórea sobre el suelo: el método directo y el indirecto (Rügnitz *et al.* 2009).

El objetivo del estudio fue desarrollar una ecuación alométrica para estimar el carbono almacenado en plantaciones de café de la zona de media altura 800 a 1200 msnm del municipio de Comasagua, departamento de La Libertad, en El Salvador. Se aplicaron principios de dasometría y alometría como herramientas para el desarrollo de modelos utilizados para estimar biomasa y carbono en plantaciones de bosques de café bajo sombra.

MATERIALES Y METODOS

Ubicación espacial

Se realizó en cuatro fincas, ubicadas en el municipio de Comasagua, departamento de La Libertad, El Salvador, sobre la Cordillera del Bálsamo. Comasagua cuenta con un área de 3,141.07 hectáreas cultivadas de café bajo sombra de media altura de 800 - 1200 msnm, que equivale a 42.7% del área total; punto de referencia geográfica 13° 38' 16.3" N y -89° 22' 38.2" W, con pendiente promedio de 55%. Ubicada a 21 kilómetros de la ciudad de San Salvador. Delimita al norte con Talnique, este con Santa Tecla, sur con La Libertad y al oeste con Tamanique.

Caracterización Climática

Temperatura máxima de 22°C, la mínima de 19°C, una precipitación anual de 1800 mm, y humedad relativa del 80%.

Metodología de campo

Se adaptó de Castellanos *et al.* (2010), Andrade y Segura (2008) y Picard *et al.* (2012). Se utilizó el método

destrutivo; consistió en seccionar cada individuo en sus partes principales, en este caso raíz, tocón, rebrotes, bandola y hojas. El procedimiento fue el siguiente:

- Visitas de campo con los coordinadores de la zona de estudio, personal de unidad ambiental de la alcaldía y personal del Consejo Salvadoreño del Café (CSC).
- Se desarrolló una planificación de los posibles lugares de muestreo con ArcGis® versión 10.3, según la cartografía oficial del Centro Nacional de Registro (CNR). Los puntos de muestreo fueron distribuidos aleatoriamente.
- Con las coordenadas de los diferentes puntos se realizó otra visita para establecer día de trabajo en cada una de las fincas cafetaleras.
- Con los puntos cargados en un GPS Garmin® Modelo 78 se localizaron uno a uno los sitios de muestreo, previamente se codificaron.
- Mediante un análisis visual de la zona en el punto de muestreo, se seleccionaron individuos que no tuviera rasgos atípicos que generan errores en las mediciones.
- Se realizó una descripción general del lugar como: manejo de la finca, topografía, pendiente y orientación topográfica.
- Las variables medidas en campo se registraron en un formulario digital diseñado en la plataforma ODK® Build.
- Los individuos se ubicaron por medio de la coordenada GPS, determinada al azar en el software ArcGis®, además se utilizó un mapa cartográfico de la zona donde se realizó el muestreo y el registro de datos.
- Se midieron (con una cinta diamétrica, una métrica y un vernier) las siguientes variables: altura total, altura de tocón, altura de rebrotes, diámetro a 15 cm de altura y diámetro a la base

de rebrotes.

- Luego de registrar las variables dasométricas, se continuó con el seccionamiento de cada individuo sus partes: raíz, tocón, tallo, bandolas, hojas, flores y frutos. Estas dos últimas variables se tomaron de acuerdo al estado fenológico de los cafetos.
- Se extrajo la raíz de los individuos con un palín y biello.
- Luego se pesó en balanza analítica, cada uno de los elementos seccionados y se registraron estos pesos en el formulario Open Data Kit®.
- Se tomaron muestras de cada elemento, para el respectivo análisis de laboratorio, cada muestra fue etiquetada con el número correlativo, código, fecha, tipo de sección y lugar.
- Las muestras tomadas se colocaron en sobres de papel manila debidamente etiquetados y se transportaron en una caja para evitar pérdidas o deterioro.

Definición de ecosistemas

El ecosistema seleccionado fue café bajo sombra; se sitúa entre los 800 y 1200 msnm, ahí se cultiva el café de media altura, en sus variedades: Borbón, Pacamara, Pacas, Catuai, entre otras de la especie arábica. Por ser plantaciones permanentes, las edades varían y se realizan diferentes manejos agronómicos.

Determinación del tamaño de muestra

El muestreo se basó en la metodología del manual de construcción de ecuaciones alométricas para estimar el volumen y la biomasa de los árboles de Picard *et al.* (2012), que indica el procedimiento del método destructivo, para la recolección de datos y muestras; en el estudio de línea base de carbono en cafetales de Castellanos *et al.* (2010), se muestreo el 10% del área total cultivada con café, para ello se utilizaron 72 individuos, y se desarrolló el modelo alométrico. Por lo tanto, se consideró el criterio técnico de los autores antes mencionados y se determinó un total de 72

individuos de distintas variedades, distribuidos en la zona de media altura del municipio de Comasagua.

Selección de individuos por muestreo

Se seleccionaron arbustos de café de 5 años en adelante, plantas recepadas (con tocón), distribuidas por rango de elevaciones a cada 100 msnm, distribuidas en cuatro diferentes zonas.

Medición, corte y estimación de biomasa por árbol

Una vez seleccionada la planta por cortar; se midió la altura de tocón a 15 cm de la base, altura total de la planta, altura total de los rebrotes, diámetro de la base de los rebrotes y el diámetro a $\frac{2}{3}$ de altura. Los diámetros se midieron con una cinta diamétrica y la altura con cinta métrica. Se cortaron todas las secciones en el siguiente orden: frutos, flores, hojas, bandolas, rebrotes, tocón y raíz, con el cuidado de recuperar en su totalidad cada sección.

Luego se pesó la raíz, tocón, rebrotes, bandolas y hojas, para registrar la biomasa húmeda en una balanza digital de una precisión ± 1 g. También, se procedió a tomar una sub muestra de aproximadamente 100 g de cada sección, adicionalmente se tomaron muestras para determinar la densidad específica de la madera de tocón y rebrotes; para almacenarse en bolsas de papel Kraft. Cada una de estas sub muestras se les asignó un código para su identificación y manejo en laboratorio.

Estas sub muestras se utilizaron para estimar la biomasa seca de cada sección de la planta (ecuación 1).

$$B = \frac{P_f \times M_s}{100} \quad (1)$$

Donde:

B: biomasa

P_f: peso fresco (Kg)

M_s: materia seca %

Cuadro 1. Codificación de muestras.

Código	Sección
	HOJA
H_FSA_A02A	BANDOLA
B_FSA_A02A	FRUTO
FR_FSA_A02A	FLOR
FL_FSA_A02A	TOCÓN
To_FSA_A02A	TOCON
top_FSA_A02A	DENSIDAD
T_FSA_A02A	TALLO
Tp_FSA_A02A	TALLO
R_FSA_A02A	DENSIDAD
	RAIZ

Metodología de laboratorio

Se determinó el contenido de humedad de la biomasa para poder estimar el peso seco; se requirió 100 g de muestra. Esto se hizo mediante el secado en horno de convección de todas las muestras de biomasa viva colectadas. El secado según Andrade y Segura (2008) a una temperatura media de 60°C hasta llegar a un peso constante.

Estas muestras pasaron por el siguiente proceso:

- Se tomaron 9 sub muestras de biomasa verde por planta.
- Se pesaron las muestras para obtener peso húmedo (PH). Aproximadamente 100 g en balanza semi-analítica.
- Se calentó el horno a 60 °C y se colocaron las muestras por 72 horas hasta obtener un peso constante mediante pesajes periódicos, así evitar dejar residuos de humedad y no provocar oxidación de las muestras.
- Las sub muestras se colocaron en bolsas de papel Kraft etiquetadas en el horno.
- Se retiraron las muestras del horno y se colocaron en desecador por 30 minutos y posteriormente se pesaron en una balanza semi-analítica. Para

así conocer la pérdida de peso (ecuación 2).

- Con el peso inicial de madera y el de madera más parafina por diferencia, se determina el peso únicamente de la parafina.
- Finalmente, la gravedad específica es el peso de un bloque de madera secado al horno dividido entre el peso de un volumen de agua desplazada (Panshin y Zeeuw 1970).

Cálculo de humedad:

$$H\% = \frac{PH - PS}{PS} \times 100 \quad (2)$$

Donde:

H%: Porcentaje de humedad.

PH: Peso humedad de la muestra.

PS: Peso seco de la muestra

Densidad de madera

Para la determinación de la densidad específica de madera se realizaron los siguientes pasos: se seleccionaron muestras de tallo y de tocón, se determinó la humedad parcial, se parafinó cada trozo de tocón y rebrote sin corteza, se sumergía en un vaso de eureka que contenía agua a temperatura ambiente, con la ayuda de una pesa, ya que la madera tiende a flotar y el vaso de eureka se utilizó para medir el volumen desplazado de un cuerpo sumergido.

Cálculo de la densidad:

$$V_p = \rho_p * m_p \quad (3)$$

$$V_m = V_{m+p} - V_p \quad (4)$$

$$\rho_m = \frac{M_m}{V_m} \quad (5)$$

Donde:

V_p : Volumen desplazado por la parafina

ρ_p : Densidad de la parafina

m_p : Masa de la parafina

V_m : Volumen de madera

V_{m+p} : Volumen de madera + parafina

ρ_m : densidad de la madera ($g \cdot cm^{-3}$)

M_m : Masa de madera

Factor de forma de rebrotes

Este factor permite estimar volúmenes de madera con más precisión. El volumen total se define como la cantidad de madera estimada en metros cúbicos a partir del tocón hasta el ápice de un árbol. Para determinar el factor de forma se utilizó la ecuación de volumen de Smalian para un paraboloides (CARDER 2013) (ecuación 6).

$$V = \left(\frac{\pi}{4}\right) \times \left(\frac{D_1^2 + D_2^2}{2}\right) \times h \times F_f \quad (6)$$

Para determinar el factor de forma de un fuste cualquiera se realiza a través del volumen real del fuste y el de un sólido de igual base o diámetro (ecuación 7) (CARDER 2013), para el caso del café se determinó de la siguiente manera:

$$F_f = \frac{\text{Volumen real del rebrote}}{\text{Volumen del cilindro}} \quad (7)$$

$$F_f = \frac{\pi/4 \times \left(\frac{Dm^2 + dm^2}{2}\right) \times h + \pi/4 \times \left(\frac{Dm^2 + dm^2}{2}\right) \times h}{\pi/4 \times DAB^2 \times h}$$

Donde:

Dm^2 : Diámetro mayor al cuadrado

dm^2 : Diámetro menor al cuadrado

h : Altura

DAB : Diámetro a la altura de base.

Metodología estadística

Para el análisis e interpretación estadística de las variables cuantitativas se consideró la media, el coeficiente de variación, el P-Valor o significancia,

ANVA, R^2 y error. La interpretación del coeficiente de variación se hizo según Bonilla (1993). Las variables analizadas e interpretadas con el coeficiente de variación fueron el porcentaje de humedad de las secciones, factor de forma de los rebrotes y densidad específica de madera determinada a tocones y rebrotes.

Los análisis estadísticos de regresión se realizaron con el programa estadístico IBM SPSS® versión 23 y Excel® con el complemento estadístico XLSTAT® 2019, las variables analizadas fueron el diámetro de la base a 15 cm (DAB a 15 cm), altura de tocones (h_{to}), biomasa seca de tocones, altura total de rebrotes (h), biomasa seca de rebrotes (Incluyendo biomasa seca de hojas y bandolas) y diámetro de la base de los rebrotes (DAB).

La interpretación de los modelos de regresión se realizó mediante el coeficiente de correlación de Pearson en los que explica en una escala de 0 - 1, tanto en dirección positiva como negativa (Bonilla 1992). Un valor de 0 significa que no hay relación lineal entre las variables. Un valor de 1 o -1 indica una correlación positiva o negativa perfecta entre los valores, normalmente el valor se ubica entre 0 y 1 o entre -1 y 0 (Pacheco 1994).

Para verificar que las variables cumplan con una distribución normal o ideal teórica se utilizó el gráfico P-P normal. Es un método gráfico para el diagnóstico de diferencias entre la distribución de probabilidad de una población de la que se ha extraído una muestra aleatoria y una distribución usada para la comparación. Una forma básica de gráfico surge cuando la distribución para la comparación es una distribución teórica. Se grafican las funciones cuantiles muestrales versus los teóricos de la distribución normal, si el conjunto de datos es razonablemente normal los puntos del gráfico estarán sobre una recta.

Para los coeficientes de los modelos, se tomaron como significativos aquellos que su P-valor es mayor a 0.05 y la hipótesis alterna lo más cercano a 1×10^{-5} . Se realizó un análisis general de las variables para

todos los modelos de regresión, se combinaron variables y se hizo un análisis gráfico para identificar datos extremos y observar cual curva presenta un coeficiente “r” de Pearson y un R² mayor. Se dividió la variable de biomasa en dos (tocón y rebrotes), ya que no fue posible realizar en conjunto el análisis preciso para un solo modelo y obtener un R² significativo. Por lo tanto, se desarrollaron dos modelos alométricos de biomasa para las diferentes secciones.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Resumen de datos obtenidos por finca en estudio

En el cuadro 2, se detallan los resultados obtenidos en el muestreo de campo organizado por fincas. En total fueron 72 plantas: 26 en Finca San Antonio, 28 Finca Germania, 12 Finca Las nubes y 6 Finca el

Faro. También, se muestran los valores máximos y mínimos de las variables altura total promedio, altura promedio de tocón, promedio del diámetro a 15 cm de la base, altura promedio de rebrotes, promedio del diámetro de la base de rebrotes, toneladas de carbono y CO₂ fijado por hectárea, promedio de biomasa seca total y área por fincas.

Porcentaje de humedad por sección

Las hojas 64.51% de humedad, en ellas se produce el intercambio gaseoso y diferentes procesos bioquímicos y representa la parte turgente de la planta. Seguido de las bandolas con 45.98%, aquí desarrolla la floración y fructificación. Tallo con 43.19% en el que se presentan los tejidos conductores floema y xilema, tocón con 39.81 % y finalmente la raíz 39.08 % estos últimos tejidos leñosos (Figura 1).

Cuadro 2. Resultados obtenidos por finca.

Fincas	Código	n	Promedio de altura (m)	Altura promedio de tocón (m)	Promedio de diámetro de la base de tocón. (cm)	Promedio de altura rebrotes (m)	Diámetro de la base del rebrote (cm)	Biomasa Total (Kg)	Área (ha)
SAN ANTONIO	FSA	26	2.16	0.34	6.2	1.28	2.21	2.50	209
GERMANIA	FG	28	1.63	0.16	6.6	1.32	2.87	2.11	209
IAS NUBES	LN	12	2.25	0.33	6.0	1.21	1.89	1.73	419
EL FARO	FF	6	2.57	0.36	4.9	1.21	1.91	2.03	61.5
TOTAL		72							898.5

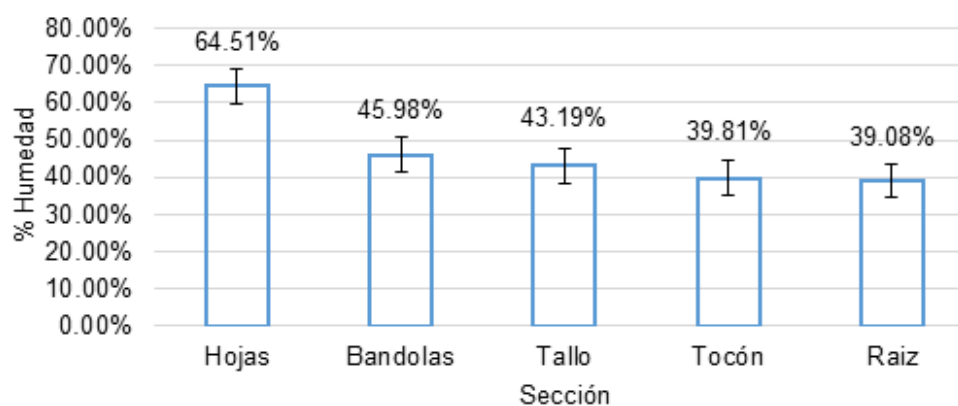


Figura 1. Porcentaje de humedad por sección.

El coeficiente de variación de la humedad por secciones se analizó según Bonilla (1993), para interpretar el grado de representatividad de la media aritmética para distintos coeficientes de variabilidad (cuadro 3), lo que indica que las medias son representativas de los datos y existe homogeneidad. Con estos porcentajes de humedad se estimó la biomasa seca total de cada sección de las plantas de café.

Biomasa seca por sección

Se determinó que la raíz representa un 32.93% de la biomasa seca total (figura 2). Castellanos *et al.* (2010) en el estudio de línea base de Carbono en cafetales realizado en Guatemala, registra que un 26.6% de la biomasa seca total lo representa la raíz. Esto representa una diferencia de 6.33%, con respecto a los datos obtenidos.

Cuadro 3. Medidas resumen para la humedad por sección.

Variable	n	Media	D. E.	CV	Mín.	Máx.
%H_Hojas	72	64.51	5.97	9.25*	41.50	75.40
%H_Bandolas	72	45.98	7.38	16.05**	23.90	57.95
%H_Tallo	72	43.19	5.90	13.67**	29.20	51.21
%H_Tocón	72	39.81	4.25	10.67**	25.26	55.09
%H_Raíz	72	39.08	10.20	26.11***	18.00	63.40

*Media altamente representativa (entre 0% y 10%).

**Media bastante representativa (entre 10% y 20%).

***Media tiene representatividad (entre 20% y 30%).

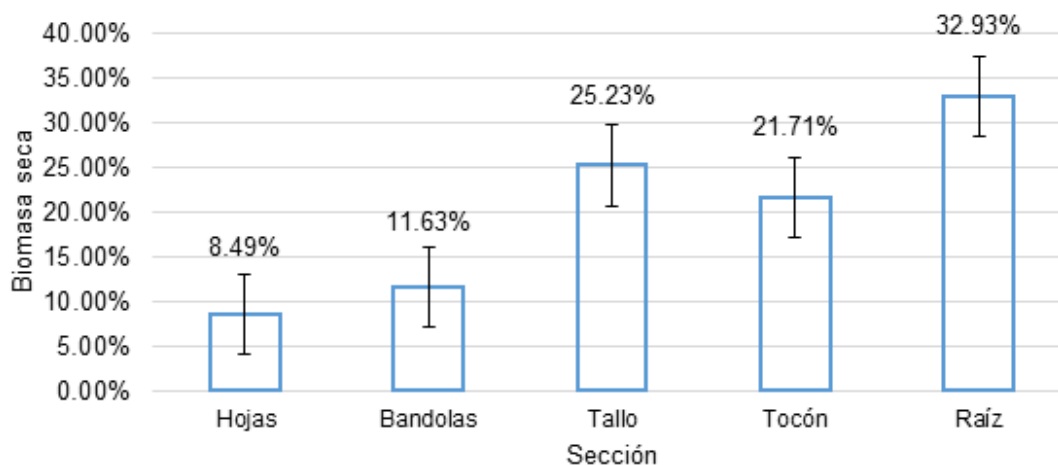


Figura 2. Porcentaje promedio de peso de biomasa por sección.

Carbono y dióxido de carbono fijado por sección.

El contenido promedio de carbono y dióxido de carbono fijado en las diferentes secciones de una planta de café expresado en porcentaje (Figura 3). Castellanos *et al.* 2010 reportan que el 21% de Carbono se fija en la raíz; mientras que en el presente estudio

se encontró un porcentaje de 33.11%, representando una diferencia de 12.10%, para carbono y dióxido de carbono. El carbono y el CO₂ se estimaron según el IPCC 2006. Las principales diferencias de contenido de carbono y CO₂ fijado se dan por el manejo agronómico, estado fenológico y la edad de las plantas.

Con el procesamiento total de las muestras de cada una de las plantas con sus diferentes resultados con base seca, se utiliza un factor de conversión que ha desarrollado el Panel Intergubernamental de expertos sobre el Cambio Climático (IPCC 2006) el cual afirma que la fracción de Carbono en la biomasa seca total es del 47 %. El resultado final se expresa en .

$$Kg/planta \text{ o } Tn \text{ ha}^{-1}.$$

Densidad de madera

El coeficiente de variación del factor de forma de rebrotes y de la densidad de específica de madera se analizó según Bonilla (1993) para interpretar el grado

de representatividad de la media aritmética para distintos coeficientes de variabilidad (cuadro A 1), lo que indica que las medias son representativas de los datos y existe homogeneidad. El factor de forma para rebrotes fue de 0.50, CARDER (2013) reporta que el factor de forma para un tallo con forma de paraboloide puede ser $0.74 \geq f \geq 0.40$, por tanto, el factor encontrado está dentro de este rango. En cuanto a la densidad específica de madera para café, MARN (2018) reporta un valor de 0.62 g cm^3 , el valor promedio determinado para rebrotes y tocón (cuadro 4) fue de 0.795 g cm^3 , existiendo una diferencia de 0.175 g cm^3 .

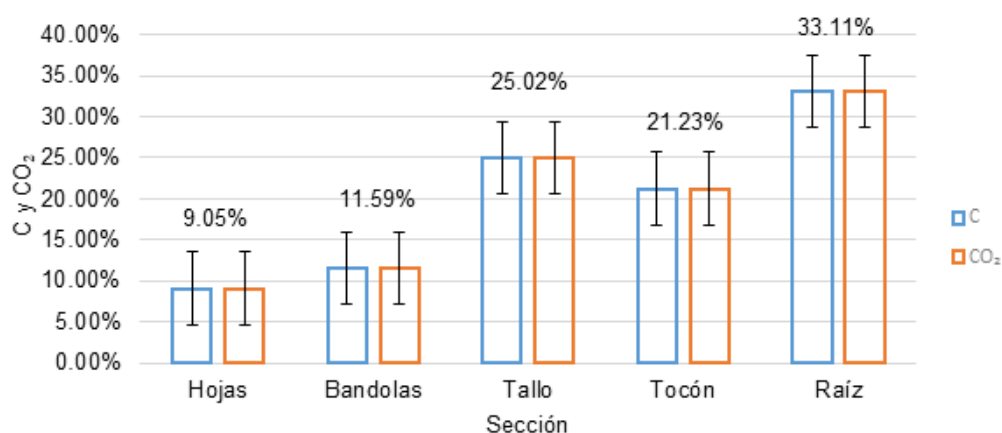


Figura 3. Porcentaje promedio de carbono y dióxido de carbono fijado por sección.

Cuadro 4. Resumen densidad de madera.

Variable	N	Media	D.E	E.R	CV	Mínimo	Máximo
Factor de forma	197	0.50	0.09	0.01	17.81**	0.34	0.81
$\rho_{\text{tallo}} \text{ g cm}^{-3}$	75	0.80	0.04	4.6E^{-03}	5.00*	0.70	0.88
$\rho_{\text{tocón}} \text{ g cm}^{-3}$	75	0.79	0.04	4.6E^{-03}	4.84*	0.63	0.90

*Media altamente representativa (entre 0% y 10%).

**Media bastante representativa (entre 10% y 20%).

Modelo alométrico para plantas de café de media altura

Se colectaron un total de 72 plantas de café, distribuidas en cuatro fincas cafetaleras de media altura. Todas las plantas evaluadas se encontraron en diferentes estados fenológicos, por lo que en el

análisis de regresión solo se incluyó la biomasa seca arriba del suelo en kilogramos del tocón, rebrotes, bandolas y hojas. La biomasa seca de raíz se incluyó como porcentaje de la biomasa seca total arriba del suelo. Por ser plantas recepadas no fue posible realizar un solo modelo alométrico. Razón por la

que se desarrollaron dos modelos; uno para tocón y otro para rebrotes, ambos incluyen la biomasa de bandolas y hojas.

Modelo alométrico para tocón

El modelo alométrico desarrollado para tocón, se realizó con la variable dependiente biomasa seca en kilogramos de 72 tocones y el producto de las variables regresoras: diámetro de la base a 15 cm elevado al cuadrado multiplicado por la altura de los tocones en metros. Gould (1979) citado por Picard *et al.* (2012) enfatiza en que los modelos utilizados que permiten hacer mejores estimaciones de biomasa seca son los modelos de potencia. Esto será el punto de partida para la exploración gráfica de los datos y selección del modelo que mejor se ajuste.

Con el software IBM SPSS® Statistics versión 23.0 2014 se realizó la exploración gráfica de los modelos de regresión. Se observó, que el modelo que mejor se ajustó es el de potencia. Por lo antes expuesto y los resultados obtenidos se eligió este modelo, ya que se conoce como una relación alométrica y es el que mayor R² presentó en la evaluación gráfica.

Castellanos *et al.* (2010) en el estudio de línea base de carbono en cafetales realizado en Guatemala, desarrolló un modelo de potencia con un coeficiente de determinación (R²) de 0.70, que relaciona la biomasa seca en kilogramos con el producto del diámetro de la base a 15 cm elevado al cuadrado multiplicado por la altura de tocón en metros (figura 4) (ecuación 9).

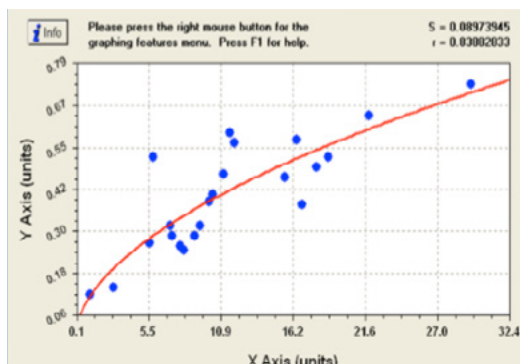


Figura 4. Análisis gráfico del modelo de potencia de Castellanos *et al.* (2010) para tocones.

Ecuación del modelo:

$$y = 0.1124X^{0.5435} \quad R^2 = 0.70 \quad (9)$$

El modelo alométrico de potencia desarrollado (figura 5) (ecuación 10), obtuvo un coeficiente de determinación (R²) de 0.692, lo que significa que el modelo describe una proporción del 69.2% de la variación total observada de la variable dependiente explicada por el modelo, existiendo una diferencia de 0.008 %, con un nivel de significancia de 95%.

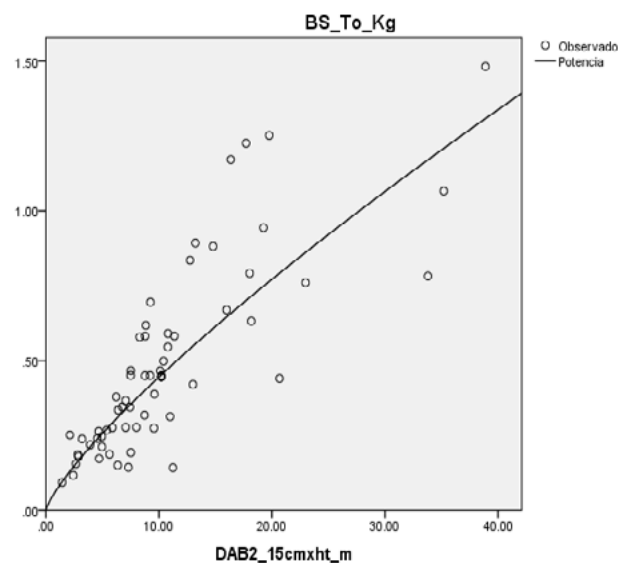


Figura 5. Relación de la biomasa seca de los tocones (eje Y) y el DAB2 a 15 cm * ht_m (eje X).

$$B_{tocón} = 0.071X^{0.794} \quad (10)$$

Donde:

$B_{tocón}$ = biomasa seca (Kg)

a: 0.071 (Constante)

X: $DAB^2_{15\text{ cm}} * ht_m$

b: 0.794 (Coeficiente de regresión)

El análisis de varianza indica que estadísticamente las constantes del modelo son significativas con un intervalo de confianza del 95%. Así mismo, se comprobó mediante la gráfica P-P normal que los datos de la variable independiente biomasa seca en kilogramos, cumplen con una distribución normal (figura 6).

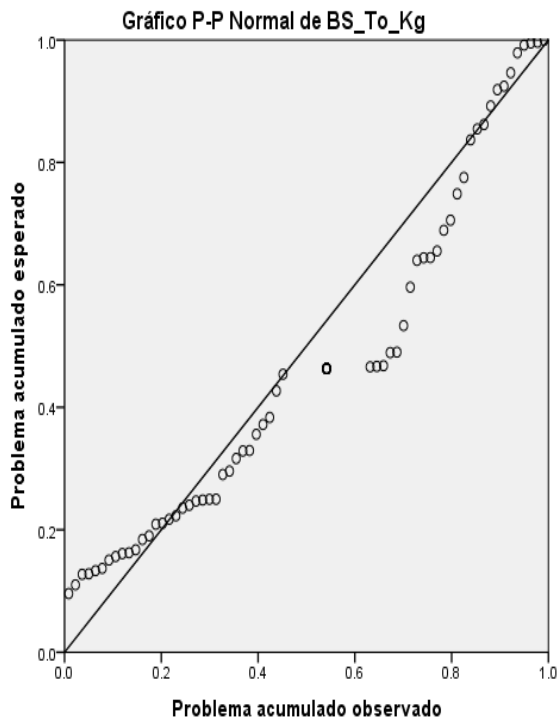


Figura 6. Prueba de normalidad de la variable independiente biomasa seca de tocones en kilogramos Gráfico P-P Normal.

Modelo alométrico para rebrotes

Para desarrollarlo, se utilizaron 196 datos de biomasa seca incluyendo la biomasa seca de bandolas y hojas en kilogramos como variable dependiente y el diámetro de la base de los rebrotes en centímetro como variable regresoras.

Se utilizó el software IBM SPSS® Statistics 23.0 versión 2014 para realizar la exploración gráfica de las pruebas de regresión con diferentes modelos. Se observó, que el modelo de potencia tiene mejor ajuste. Por lo antes expuesto y los resultados obtenidos, se eligió este modelo, ya que se conoce como una relación alométrica y es el que mayor R^2 presentó en la evaluación gráfica.

Castellanos *et al.* (2010) en el estudio de línea base de carbono en cafetales realizado en Guatemala, reporta un modelo de potencia para rebrotes con un coeficiente de determinación (R^2) de 0.63, que relaciona la biomasa seca de rebrotes en kilogramos con el diámetro a la base de los rebrotes (figura 7)

(ecuación 11).

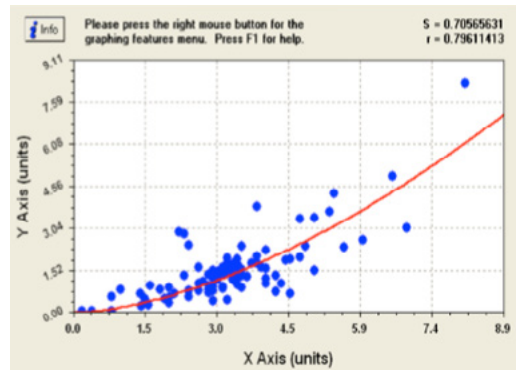


Figura 7. Análisis gráfico del modelo de potencia de castellanos et al (2010) para rebrotes.

Ecuación del modelo:

$$0.1955x^{1.648} \quad R^2 = 0.63 \quad (11)$$

El modelo alométrico de potencia desarrollado (figura 8) (ecuación 12), obtuvo un coeficiente de determinación (R^2) de 0.914. Significa que el modelo describe una proporción del 91.4% de la variación total observada en la variable dependiente explicada por el modelo, existiendo una diferencia de 0.284 con respecto al modelo para rebrotes de Castellanos *et al.* (2010). Con un nivel de significancia de 95%.

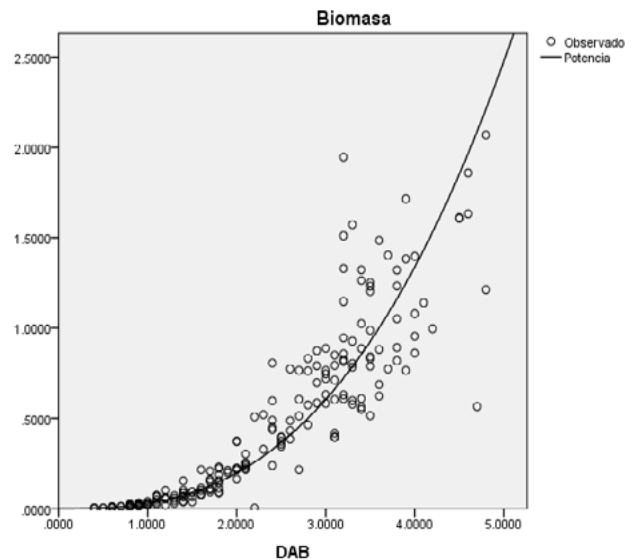


Figura 8. Relación de la biomasa seca de los rebrotes (eje Y) y el DAB en cm (eje X).

$$B_{rebrotes} = 0.029X^{2.758} \quad (12)$$

Donde:

$B_{rebrotos}$ = biomasa seca (Kg)
 a : 0.029 (Constante)

X : DAB_{cm}
 b : 2.758 (Coeficiente de regresión)

El análisis de varianza indica que estadísticamente las constantes del modelo son significativas. Así mismo, se comprobó que los datos de la variable independiente biomasa seca de rebrotos en kilogramos, tienen una distribución normal mediante la gráfica P-P normal (figura 9).

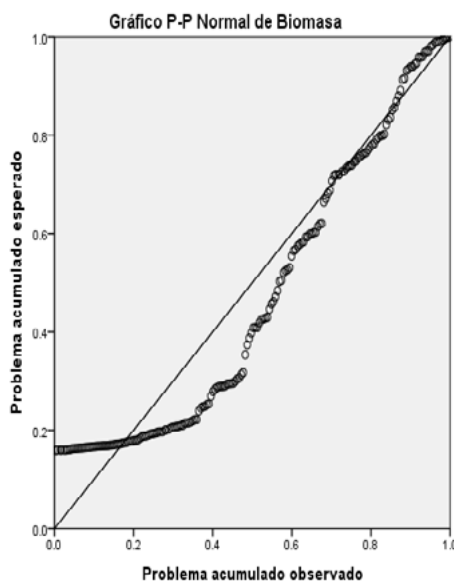


Figura 9. Prueba de normalidad de la variable independiente biomasa seca de rebrotos en kilogramos Gráfico P-P Normal.

Ecuación alométrica desarrollada para la estimación de biomasa y carbono en plantas de café

Para obtener la biomasa total de una planta de café (ecuación 13), se debe usar la ecuación (10) para tocón y la ecuación (12) para rebrotos. El resultado de la combinación de los dos modelos anteriores se debe multiplicar por el porcentaje de biomasa seca correspondiente a raíz. Así mismo se determina el carbono y el CO_2 fijado como se muestra en las ecuaciones 14 y 15.

$$B_{total} = (0.071X^{0.794} + 0.029X^{2.758}) * 1.3293 \quad (13)$$

$$C_{ton/ha} = Biomasa_{total} * 0.47 \quad IPCC \ 2006 \quad (14)$$

$$CO_2_{ton/ha} = C * \left(\frac{44}{12}\right) \quad IPCC \ 2006 \quad (15)$$

Donde:

$$Biomasa \ total = \left(\sum_{i=1}^n Biomasa \ tocón + \sum_{i=1}^n Biomasa \ rebrotos \right) * \% \ de \ raíz$$

0.47 = factor de conversión para pasar de biomasa a carbono.

$\frac{44}{12}$ = factor de conversión de carbono a dióxido de carbono.

La fracción de carbono de la materia seca (CF) se estima en un 47%. La conversión de carbono en bióxido de carbono se basa en la relación del peso de ratio de la molécula de (CO_2) (44/12) (IPCC 2006).

Estimación de carbono y CO_2 almacenado en las plantaciones de café de cuatro fincas de media altura de Comasagua

Con los valores promedio de las variables altura de tocón, diámetro a 15 centímetros de la base de tocón y diámetro de la base de rebrotos (resumidos en el cuadro 2), se proyectaron las estimaciones de biomasa seca, carbono y CO_2 total fijado por finca. Se aplicó una densidad de siembra de 3,906 cafetos por hectárea, ya que durante la fase de campo se comprobó que el distanciamiento de siembra predominante fue de 1.60 m * 1.60 m. Con ello se obtuvo el resultado de los cuadros 5 y 6.

En cuanto al carbono y CO_2 fijado, el mayor promedio lo registró la Finca Las Nubes con 1,114.61/4,086.91 toneladas de C y CO_2 , y el menor la Finca el Faro con 155.30/569.45 toneladas de C y CO_2 fijado.

CONCLUSIONES

Se comprobó que las fincas cafetaleras de la zona de media altura de Comasagua, son de mucha variabilidad, en cuanto a las edades, variedades, el manejo y la producción. Por lo tanto, se mantuvo la disciplina del muestreo para reducir al máximo el error de las mediciones dasométricas, pesaje de las

Cuadro 5. Estimaciones de biomasa seca, carbono y CO₂ fijado arriba del suelo, por finca.

Finca	Densidad de siembra. (Plantas ha ⁻¹)	Biomasa tocón. (ton ha ⁻¹)	Carbono y CO ₂ fijado en tocón. (ton ha ⁻¹)	Biomasa rebrotes. (ton ha ⁻¹)	Carbono y CO ₂ fijado en rebrotes. (ton ha ⁻¹)
San Antonio	3,906	2.13	1.00/3.67	2.72	1.28/4.68
Germania	3,906	1.30	0.61/2.25	4.79	2.25/8.25
Las Nubes	3,906	1.98	0.93/3.41	2.28	1.07/3.93
El Faro	3,906	1.53	0.72/2.64	2.51	1.18/4.33

Cuadro 6. Estimaciones totales de biomasa seca, carbono y CO₂ fijado por finca.

Finca	Densidad de siembra. (Plantas ha ⁻¹)	Biomasa total. (ton ha ⁻¹)	Carbono y CO ₂ total fijado. (ton ha ⁻¹)	Área total por finca.	Biomasa total por finca. (ton)	Carbono y CO ₂ total fijado por finca. (ton)
San Antonio	3,906	6.44	3.03/11.10	209	1,346.52	632.86/2,320.50
Germania	3,906	8.10	3.81/13.95	209	1,692.10	795.29/2,916.05
Las Nubes	3,906	5.66	2.66/9.75	419	2,371.51	1,114.61/4,086.91
El Faro	3,906	5.37	2.53/9.26	61.5	330.44	155.30/569.45

secciones y en el procedimiento de preparación de muestras para el análisis de laboratorio.

Las metodologías de modelos alométricos desarrolladas por otros autores, sirvieron como base para la adaptación de la metodología del estudio. Esto permitió obtener resultados satisfactorios en el desarrollo de los modelos alométricos que estiman la biomasa seca y carbono de las plantas de café.

Con la información recolectada en campo, fue posible determinar otras variables relevantes que se relacionan con el estudio. Estos resultados son la determinación del contenido de carbono y CO₂ de las plantas a través de los modelos desarrollados, el factor de forma para rebrotes y la densidad específica de madera determinada para tocones y rebrotes.

Para la determinación de la biomasa de tocones, se utilizó la relación del diámetro de la base a 15 centímetros elevado al cuadrado, multiplicado por la altura en metros. Los resultados son más certeros, si

los valores calculados son menores a 20 unidades. Y en el caso de los rebrotes si los diámetros de las bases son menores a 3.5 cm.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador, al Consejo Salvadoreño del Café y a la Unidad Ambiental de la Alcaldía de Comasagua, por haber desempeñado un papel fundamental en el desarrollo y ejecución de la investigación.

BIBLIOGRAFÍAS

- Andrade, HJ; Segura, M. 2008. ¿Cómo construir modelos alométricos de volumen, biomasa o Carbono de especies leñosas perennes?: determinación del tamaño de la muestra. Costa Rica, CATIE. 8 p.
- Arévalo Beltrán, MA; Méndez Alfaro, DC. 2011. Análisis multitemporal de las zonas cafetaleras de El Salvador y su impacto en el desarrollo

- socioeconómico. Tesis Ing. Agro. San Salvador, El Salvador. UES. 165 p.
- Azcón-Bieto, J; Talón, M. 2000. Fundamentos de fisiología vegetal. Barcelona, España. McGraw-Hill. 522 p.
- Benavides Ballesteros, HO; León Aristizábal, GE. 2007. Información técnica sobre gases de efecto invernadero y el cambio climático. Bogotá, Colombia. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales-IDEAM. 102 p.
- Bonilla, G. 1992. Estadística II: métodos prácticos de inferencia estadística. 2ª. Ed. San Salvador. El Salvador. UCA editores 90-92 p.
- Bonilla, G. 1993. Estadística I Elementos de estadística descriptiva y probabilidad: coeficiente de variación, UCA editores, El Salvador. 215 p.
- CARDER (Corporación Autónoma Regional del Risaralda, Colombia). 2013. Guía de cubicación de madera (en línea). Consultado feb. 2020. Disponible en http://www.rivasdaniel.com/pdf/GUIA_DE_CUBICACION_MADERA.pdf
- Castellanos, E; Quilo, A; Pons, D. 2010. Estudio de línea base de carbono en cafetales: resumen. Guatemala. UVG. 48 p.
- CSC (Consejo Salvadoreño del Café). 2017. Variedades cultivadas en El Salvador (en línea, sitio web). Consultado 12 may. 2015. Disponible en <http://www.csc.gob.sv/variedades/>
- Cuenca, ME; Jadán, O; Cueva, K; Aguirre, C. 2014. Carbono y ecuaciones alométricas para grupos de especies y bosque de tierras bajas, Amazonía Ecuatoriana. Revista CEDAMAZ. 4(1):21-31 p.
- Filho, EMV; Abarca Monge, S. 2008. Cafetales para servicios ecosistémicos, con énfasis en el potencial de sumideros de Carbono: El caso de cooperativas cafetaleras afiliadas a COOCAFE. Informe final. Costa Rica. 61 p. CATIE-FUNCAFOR-COOCAFE-OIKOCREDIT.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2006. Guidelines for National Inventories of Greenhouse Gases Agriculture, forestry and other land uses (en línea). Consultado 10 ene. 2020. Disponible en <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/vol4.html>
- MARN (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, El Salvador). 2018. Inventario Nacional de Bosques de El Salvador. San Salvador, El Salvador. 426 p.
- Pacheco, RG. 1994. Estadística II: aplicada. San Salvador, El Salvador. 2 ed. Star Print. 269 p.
- Panshin, AJ; De Zeeuw, C. 1970. Textbook of wood technology. Structure, Identification, Defects, and uses of the commercial woods of the United States. New York, US, McGraw-Hill. V 1. 705 p.
- Picard, N; Saint-André, L; Henry, M. 2012. Manual de construcción de ecuaciones alométricas para estimar el volumen y la biomasa de los árboles: del trabajo de campo a la predicción. Las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura y el Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement, Rome, Montpellier, 213 p.
- Rügnitz, MT; Chacón, ML; Porro R. 2009. Guía para la Determinación de Carbono en Pequeñas Propiedades Rurales. Lima, Perú. ICRAF-Consorcio Iniciativa Amazónica. 79 p.
- Ruiz Díaz, C; Rodríguez Ortiz, G; Leyva López, JC; Enríquez del Valle, JR. 2014. Metodologías para estimar biomasa y Carbono en especies forestales de México. Revista Naturaleza y desarrollo. 12(1):28-44 p.
- Sola, G; Picard, N; Saint-André, L; Henry, M. 2012. Resumen del manual de construcción de ecuaciones alométricas para estimar el volumen y la biomasa de los árboles: del trabajo de campo a la predicción. Las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura y el Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement, Rome, Montpellier, 17 p.
- Solano, D; Vega, C; Eras, VH; Cueva, K. 2014. Generación de modelos alométricos para determinar biomasa aérea a nivel de especies, mediante el método destructivo de baja intensidad para el estrato de bosque seco pluviestacional del Ecuador. Revista CEDAMAZ. 4(1):32-44 p.



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

Artículo de investigación

Relación entre el diámetro del folículo pre-ovulatorio con el porcentaje de preñez en vacas encastadas sometidas a un protocolo de sincronización de celo en el municipio de San Miguel, San Miguel, El Salvador

Relationship between the diameter of the pre-ovulatory follicle and the percentage of pregnancy in pregnant cows subjected to a heat synchronization protocol in the municipality of San Miguel, San Miguel, El Salvador

Flores-Escobar, O.I.¹, Lopez-Salazar, C.D.¹, Amaya-Montoya, C.S.², Leyton-Barrientos, L.V.³

Correspondencia:
olguish90@hotmail.com
ludwing.leyton@ues.edu.sv
camayamontoya@gmail.com

Presentado:
02 de septiembre de 2020
Aceptado:
20 de octubre de 2020

- 1 Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias Agronómicas, Departamento de Zootecnia.
- 2 Ministerio de Agricultura y Ganadería, División de identificación, rastreabilidad y reproducción animal.
- 3 Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias Agronómicas, Departamento de Zootecnia.

RESUMEN

La investigación se realizó de julio a diciembre de 2019 en una ganadería comercial ubicada en Cantón El Brazo, departamento de San Miguel. En el experimento se midió el diámetro del folículo pre-ovulatorio de vacas encastadas y se relacionó con el porcentaje de preñez. La investigación duró seis meses. Durante ese tiempo se seleccionaron 34 vacas para ser sometidas a un protocolo de sincronización de celos (HeatSynch), medir el folículo pre-ovulatorio desarrollados en ellas y posteriormente fueron inseminadas. Se aplicó una dosis de GnRH (0.01mg) el día 0, PGF2a (0.150mg) el día 7 y Estradiol (1mg) el día 8, para ser inseminadas artificialmente (IA) el día 10 (IATF). Para medir los folículos, se utilizó un ultrasonógrafo con transductor lineal (5.0-7.5MHz.). Se revisaron ambos ovarios a partir del día 8 de protocolo, cada 12 horas hasta horas antes (entre 30 minutos y 3 horas) de la IA de cada vaca. La última revisión se realizó entre los días 30-35 después del servicio para diagnóstico de preñez. De las que resultaron preñadas se tomó captura del ovario que contenía el cuerpo lúteo. Solamente 4 vacas resultaron preñadas en este estudio. Para el análisis estadístico de los datos obtenidos durante la investigación, se utilizaron análisis descriptivos y diferenciales entre cada variable. Las variables analizadas fueron la correlación entre el diámetro del folículo pre-ovulatorio y el porcentaje de preñez, la correlación entre la condición corporal y el diámetro del folículo pre-ovulatorio, la correlación entre la edad y el diámetro del folículo pre-ovulatorio y la correlación entre el número de lactancias y el diámetro del folículo pre-ovulatorio. Al relacionar la variable diámetro del folículo pre-ovulatorio con cada una de las demás variables, dio resultados no significativos. Conclusiones: El mayor número de preñeces se dio en vacas que desarrollaron folículos pequeños (21.43%), contra una preñez en vacas que desarrollaron folículos grandes (16.67%), mientras que en las vacas que desarrollaron folículos medianos (0%) no se obtuvo ninguna preñez. Los resultados demostraron que no existe relación entre el diámetro del folículo pre-ovulatorio y el porcentaje de preñez en vacas encastadas; no obstante, el protocolo de sincronización utilizado durante la investigación en ganado encastado mostró signos de celo y desarrollo folicular.

Palabras claves: ganado encastado, diámetro folicular, sincronización de celos, inseminación artificial.

ABSTRACT.

The research was carried out from July to December 2019 in a commercial livestock facility located in El Brazo county, department of San Miguel. The diameter of the pre-ovulatory follicle of pregnant cows was measured to be later related to the percentage of pregnancy. The investigation lasted six months. During that time, 34 cows were selected to undergo a heat synchronization protocol (HeatSynch), then measure their developed pre-ovulatory follicle and inseminated. A dose of GnRH (0.01mg) was applied on day 0, PGF2a (0.150mg) on day 7 and Estradiol (1mg) on day 8, to be artificially inseminated (IA) on day 10 (IATF). To measure the follicles, an ultrasound with a linear transducer (5.0-7.5MHz.) was as used. From day 8 of the protocol, both ovaries were checked every 12 hours until hours before (between 30 minutes and 3 hours) the AI of each cow. The last check-up was performed between days 30-35 after pregnancy diagnosis. Only four cows became pregnant in the study from which, a capture was taken of the ovary that contained the corpus luteum. For the statistical analysis of the data, descriptive and differential analyzes were used between each variable. The analyses performed were: correlations between the diameter of the pre-ovulatory follicle and percentage of pregnancy, between the body condition and the diameter of the pre-ovulatory follicle, between the age and the diameter of the pre-ovulatory follicle and between the number of lactations and the diameter of the pre-ovulatory follicle. When relating the diameter of the pre-ovulatory follicle with each of the other variables, there were non-significant associations. Conclusion: The highest number of pregnancies occurred in cows that developed small follicles (21.43%), against pregnancy in cows that developed large follicles (16.67%), while in cows that developed medium follicles (0%) there were no pregnancies. The results showed that there is no relationship between the diameter of the pre-ovulatory follicle and the percentage of pregnancy in encased cows; despite this fact that, the synchronization protocol used during the research in encased cattle showed signs of heat and follicular development.

Key words: cross-breed cattle, follicular diameter, heat synchronization protocol, artificial insemination.

INTRODUCCION

La selección genética en vacas lecheras aparentemente ha creado una situación de conflicto donde el rendimiento de la reproducción se reduce mientras la producción de leche aumenta. Las vacas lecheras generalmente se inseminan durante el máximo de la lactancia y la preñez, lo cual es obligatoria para lograr una producción óptima (Gvozdić et al. 2013). Los problemas reproductivos resultan en lactaciones excesivamente prolongadas o en largos periodos secos, ambos muy costosos para el ganadero. Cuando una novilla atrasa su incorporación al servicio o una vaca posparto se atrasa en entrar en celo, los productores están conscientes que los días vacíos aumentarán y causarán daños a la economía de la finca. Cuando un animal es inseminado varias veces sin preñar, incrementará la tasa de servicios repetidos y la tasa de eliminación del rebaño por problemas reproductivos, lo que constituye un golpe al plan económico de cada productor. La producción disminuirá, los gastos incrementarán y los ingresos serán menores (González 2015).

La producción en el sistema doble propósito puede verse limitada por un pobre desempeño reproductivo que a su vez puede ser consecuencia de un sistema ineficiente de detección de estros, de una baja en la fertilidad a los diferentes servicios, de elevados índices de pérdida embrionaria y/o de abortos, entre otras causas (Garrido 2010). Un mecanismo para el control del anestro es el tratamiento hormonal. La sincronización de celos en bovinos permite alcanzar mejores desempeños reproductivos. En los últimos años se han logrado importantes avances en la efectividad de los tratamientos para la inducción de la ovulación y la ciclicidad, los cuales, asociados a la inseminación artificial a tiempo fijo (IATF), permiten lograr muy buenas tasas de preñez en campo (Vallejo, 2017).

El estudio del desarrollo folicular en bovinos en etapas tempranas de la vida aporta valiosa información acerca de una serie de eventos coordinados que inducen cambios fisiológicos y morfológicos en el ovario, que intervienen en la diferenciación en el desarrollo ovocitario y, por lo tanto, en el futuro desempeño reproductivo de las hembras (Filipiak et

al. 2016).

En *Bos taurus* los diámetros de los folículos dominantes son marcadamente menores en animales pre-púberes que en post-puberales (11.2 ± 0.2 mm vs. 15.8 ± 0.5 mm respectivamente) (Filipiak *et al.* 2016). Vaquillas Holstein con dos ondas foliculares tenían folículos dominantes con diámetros máximos de 16.5 mm. En contraste, en las hembras *Bos indicus*, los diámetros reportados fueron 12.3 mm (Sartori *et al.* 2010). Aunque parece haber claras diferencias en el tamaño de las estructuras ováricas entre *Bos taurus* y *Bos indicus* (el tamaño del folículo), esto puede estar determinado por factores distintos de la raza. Sartori *et al.* (2010) observaron que el diámetro máximo del folículo pre-ovulatorio, en ocasiones, puede ser mayor en *Bos indicus* (15.6 ± 0.5 mm) que en ganado *Bos taurus* (12.8 ± 0.4 y 13.6 ± 0.4 mm para Angus y Senepol, respectivamente).

Para conocer de mejor forma la fisiología reproductiva de las vacas encastadas de la ganadería en estudio, se relacionó el diámetro del folículo pre-ovulatorio con el porcentaje de preñez en vacas encastadas bajo un protocolo de sincronización, ya que, según Vergara (2005) el tamaño de los folículos en los ovarios es considerado un indicador de fertilidad. Con los resultados obtenidos se comprende mejor la dinámica folicular del ganado encastado de la ganadería en estudio, logrando así proporcionar información que conlleve al establecimiento de mejores protocolos de sincronización de celos y ovulación, que mejoren los parámetros reproductivos en el hato y obtener mejores ingresos por vaca al año. Los resultados sirven tanto a médicos veterinarios como a técnicos inseminadores para realizar la inseminación artificial (IA) en un momento más favorable.

Por lo tanto, determinar la relación entre el diámetro del folículo pre-ovulatorio con el porcentaje de preñez en vacas encastadas ayudó a conocer de mejor forma la dinámica folicular en el ganado encastado, con lo cual, se comprende mejor la fisiología reproductiva para obtener un perfil del desarrollo folicular, en vacas encastadas, previo a la inseminación artificial.

MATERIALES Y METODOS

Ubicación, Duración, Unidades Experimentales

Este estudio se realizó en una ganadería en el municipio de San Miguel, ubicada en cantón el Brazo, departamento de San Miguel, con una elevación de 120 msnm (metros sobre el nivel del mar) con coordenadas $13^{\circ}21'13''$ N $88^{\circ}14'23''$ W. La fase de campo tuvo una duración de 6 meses (de julio a diciembre de 2019), y para el análisis estadístico de los datos recopilados 2 meses (enero a febrero 2020). Se utilizaron 34 vacas encastadas (*Bos taurus* x *Bos indicus*) en condiciones similares de manejo.

Metodología de campo

Para este estudio se sometieron a evaluación ginecológica a 51 vacas, de las cuales solamente 34 fueron seleccionadas para ser sometidas a un protocolo de sincronización de celos (HeatSynch), medición del folículo pre-ovulatorio (FPO) y, posteriormente, a diagnóstico de gestación; el resto fue descartado por diversas razones (quistes foliculares, tumores en aparato reproductor, metritis). Todas las vacas que se incluyeron en el estudio (34 vacas) fueron suplementadas con vitaminas y minerales (sales orgánicas e inorgánicas vitaminadas: vitamina A, vitamina D3, vitamina E, fósforo, calcio, magnesio, selenio, yodo, cobre, hierro, zinc, entre otros) durante 2 meses previos a iniciar la investigación, desde 30 días antes del parto hasta 30 días después del parto, suplementos que fueron administrados por vía oral junto con el alimento. Las vacas que tenían > 45 días post-parto fueron sometidas a diagnóstico ginecológico (se examinó el tracto reproductor de cada vaca, tanto órganos internos como externos, desde ovarios hasta vulva) con ultrasonógrafo para determinar si eran aptas o no para entrar al estudio, a las vacas seleccionadas se les colocó un listón en el cuello o los cuernos para identificarlas y fueron sometidas a un protocolo de sincronización de celos (HeatSynch) que consistió en la administración de una dosis de GnRH ($0.01\mu\text{g}$) el día 0, PGF2a (0.150mg) el día 7 y Estradiol (1mg) el día 8, para ser inseminadas artificialmente el día 10 (IATF) (figura 2).

Para estudiar el desarrollo del folículo pre-ovulatorio (FPO) se utilizó un equipo de ultrasonido BMV, provisto de un transductor lineal (5.0-7.5MHz.). Fueron evaluados ambos ovarios de cada vaca ultrasonográficamente (USG). La evaluación por USG fue continua ya que no todas las vacas fueron sometidas a protocolo de sincronización el mismo día; realizando el primer diagnóstico antes de seleccionar las vacas para comprobar la ciclicidad de estas (presencia de cuerpo lúteo). La medición del FPO se realizó a partir del día 7 de iniciado el protocolo de sincronización hasta antes de la IA, mediciones que se realizaron cada 12 horas. Después de 30-35 días de realizada la IA, fueron sometidas a evaluación USG para determinar preñez. Para la clasificación de los FPO, se utilizó la propuesta de Perry (2005) donde se considera como folículos pequeños a los que miden ≤ 12 mm, folículos pre-ovulatorios medianos aquellos que miden entre 12.1 a 16.00 mm y como folículos pre-ovulatorios grandes, aquellos que miden >16 mm.

Análisis de datos

Los datos recopilados ($n= 34$) durante el experimento se agruparon en tres categorías (según lo propuesto por Perry, 2005) y fueron analizados a través del programa estadístico Infostat®, 2019, con un nivel de significancia de $p \leq 0.05$. Para el análisis de estos, se utilizaron análisis descriptivos y diferenciales (Análisis de varianza, Correlación y Coeficiente de determinación) para cada variable en estudio.

Variables analizadas

Diámetro promedio en milímetros del folículo pre-ovulatorio (DFPO).

Correlación entre el DFPO y el porcentaje de preñez.

Correlación entre la Condición Corporal (CC) y el DFPO.

Correlación entre la Edad (Ed) y el DFPO.

Correlación entre el número de lactancias y el DFPO

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se midieron folículos pre-ovulatorios en vacas encastadas (figura 1), obteniendo los siguientes

resultados:

Diámetro promedio del folículo pre-ovulatorio

Estos resultados (cuadro 1) concuerdan con los observados en el estudio de Del Valle (2008), quien investigó diez ciclos estrales de vacas de doble propósito (encastadas: Holstein, Pardo Suizo y Criollo x Brahman, Gyr y Guzerat), donde el folículo pre-ovulatorio alcanzó un diámetro máximo de 14.9mm (diámetro mediano) el día antes de la ovulación. En este caso, el tamaño observado fue inferior comparado con el alcanzado por el folículo pre-ovulatorio en vacas Holstein, cuyo diámetro puede llegar a los 18mm, lo cual puede explicar la poca presencia de folículos grandes ya que todas las vacas eran encastadas. Sin embargo, es de similar tamaño que el diámetro alcanzado por el FPO de vacas Brahman, en cuyo caso el folículo alcanza un diámetro de 13.5 ± 2.1 mm, el día antes de la ovulación coincidiendo con los diámetros observados en el presente estudio.

Motta *et al.* (2011) reportó que, en hembras taurinas con dos ondas de crecimiento folicular, el diámetro del folículo dominante es de 17.1mm para la primera onda y de 16.5mm para la segunda onda; en cebuinas, los diámetros fueron de 11.3mm y 12.1mm, para la primera y segunda onda folicular, respectivamente; lo cual, como se mencionó anteriormente, puede explicar la mayor presencia de folículos pequeños y medianos en las vacas encastadas durante este estudio.

De Ondiz *et al.* (2002) evaluaron el crecimiento folicular aplicando un protocolo de sincronización, en vacas mestizas cebú, el cual se incluía Hormona Liberadora de Gonadotropina (GnRH), Gonadotropina Coriónica Equina (eCG) y un implante de progesterona, encontrando que el 83% mostró evidencias de un crecimiento folicular progresivo. El FPO se evidenció con un diámetro de 11.7 ± 2.4 mm; aunque el protocolo de sincronización fue diferente al utilizado en el presente estudio, los resultados en cuanto al diámetro de FPO (DFPO) coinciden en la prevalencia de diámetros pequeños (< 12 mm). Similar caso sucedió en un estudio realizado por Gutiérrez *et al*

Cuadro 1. Diámetros del folículo pre-ovulatorio de acuerdo a cada categoría.

Clasificación	Valor de referencia (mm)	Nº de vacas	Media ± DE (mm)
Pequeños	$n \leq 12$	14	10.64 ± 0.90
Medianos	$12 > n < 16$	14	14.62 ± 1.12
Grandes	$n > 16$	6	17.67 ± 0.77
Media global			13.49 ± 2.82

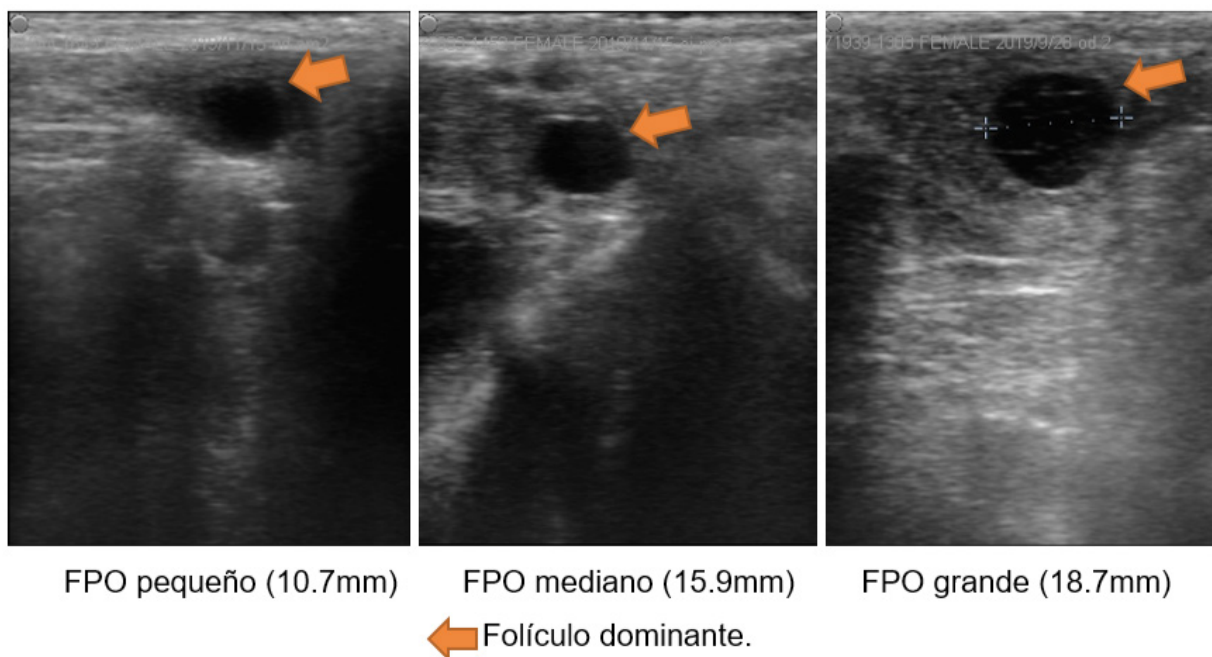


Figura 1. Diámetros foliculares observados durante el estudio.

(2007) donde evaluaron la dinámica folicular de vacas mestizas en anestro tratándolas con un progestágeno intravaginal más eCG y Prostaglandina F2a (PGF2a) donde encontraron FPO de 12.4 ± 0.41 mm.

Correlación entre el DFPO y el porcentaje de preñez

La tasa de preñez global obtenida fue del 11.76% (4/34) (figura 2), comparado contra un 35.86% que normalmente tienen en la ganadería en estudio, esto probablemente debido a diversos factores que pueden afectar a la reproducción como los mencionados por Badinga (1985), Thirunavukkarasu y Kathiravan (2009), el Manual del Protagonista (INATEC, 2016) y Guáqueta (2009): tamaño de la explotación

ganadera, edad de las vacas, número de partos, etapa de la lactancia, producción de leche, postparto y desórdenes reproductivos, época del año, tiempo de detección del celo, tiempo al servicio, temperatura y humedad, genéticos o congénitos, alimentación o nutrición, aspectos de manejo, tipo de sistema de producción, medio ambiente, tipo de piso y tipo de alojamiento.

Durante el estudio se observaron variaciones en la dieta, inadecuado manejo del semen y equipo de IA, poco interés por mejorar o corregir las fallas, pisos de corrales en malas condiciones y poca higiene de estos. El mayor porcentaje (por categoría) se observó en las vacas que desarrollaron FPO pequeños (21%) (cuadro 2). Al realizar el análisis estadístico de los datos no se

observaron diferencias significativas.

Perry *et al.* (2005) y Vergara (2005) coinciden en la observación de mayores porcentajes de preñez para diámetros de folículos medianos y pequeños (78 y 75% respectivamente), en segundo lugar, le siguen los folículos grandes (67%) y medianos (60%) (Perry *et al* y

Vergara, respectivamente) y por últimos los folículos pequeños (67%) y grandes (25%) (Perry *et al* y Vergara, respectivamente).

Para este estudio se obtuvieron los siguientes resultados:

Cuadro 2. Relación entre el DPFO y la preñez.

Valor de referencia (mm)	Preñeces (%)
n ≤ 12	21 (3/14)
12 > n < 16	0 (0/14)
n > 16	16.66 (1/6)

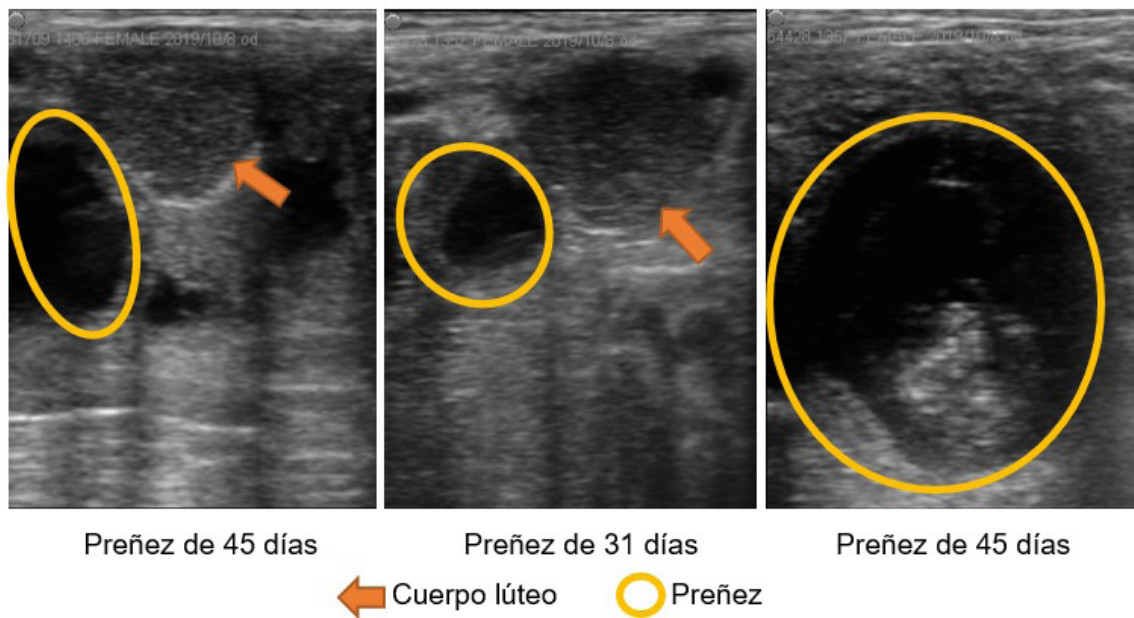


Figura 2. Ultrasonido de los CL y producto de las vacas preñadas (señalados con flechas y círculos, respectivamente).

Correlación entre la Condición Corporal (CC) y el DFPO

Se observó que vacas con una menor condición corporal (2.91) (figura 3) produjeron folículos de menor tamaño comparadas con aquellas que tenían una mayor condición corporal (tres), sin embargo, no

hay diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$). Estos resultados (cuadro 3) coinciden con los de López (2006) donde observaron que animales con y sin restricciones alimenticias obtienen un diámetro folicular de 10.5mm Vs 15.8mm respectivamente.

Cuadro 3. Condición Corporal (CC) al momento del estro de acuerdo a la categoría del diámetro del folículo pre-ovulatorio.

CC media \pm D.E	Nº vacas	Valor de referencia (mm)
2.91 \pm 0.51	14	< 12
2.95 \pm 0.51	14	12.1-16
3 \pm 0.32	6	>16

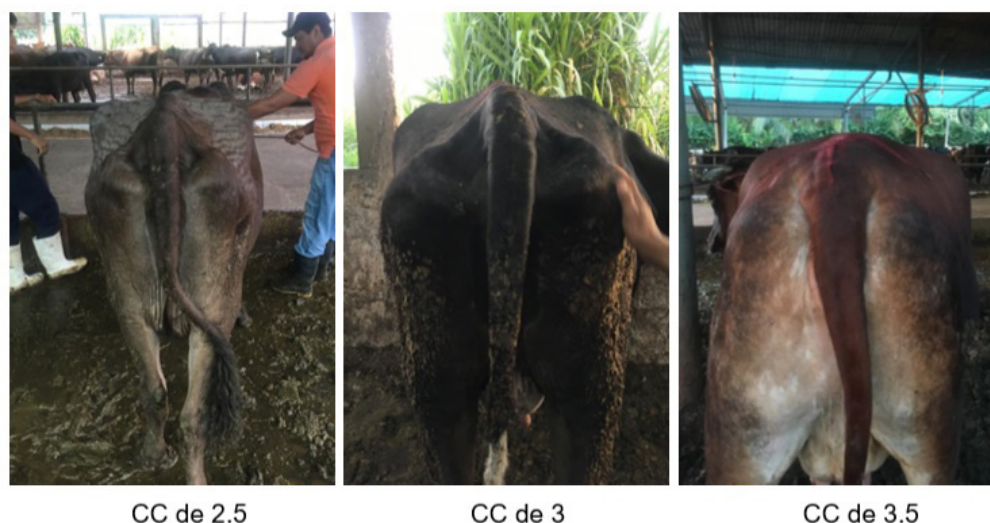


Figura 3. Diferentes Condiciones Corporales observadas durante el estudio.

Correlación entre la Edad y el DFPO

No se presentó diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$), se observó también que, a medida que avanza la edad de las vacas la tendencia de DFPO se mantiene en diámetros medianos (cuadro 4). Pero, no hay datos en la literatura que relacionen la influencia de la edad con el DFPO.

No obstante, Walters *et al* (2002) demostró que las vacas de primera y segunda paridad (entre 2 y 3 años

de edad) experimentaron un balance energético negativo más pronunciado que las vacas de tercera paridad (cuatro años de edad). Lo cual podría implicar que los niveles de energía antes y después del parto tienen una influencia directa en el tamaño y la cantidad de folículos. Así como también los bajos niveles nutricionales se combinan con una mala condición corporal, suprimiendo el crecimiento de folículos pequeños en folículos más grandes.

Cuadro 4. Relación entre la edad de las vacas y el DFPO.

Tamaño Folicular	Edad en Años							Total
	2	3	4	5	6	7	8	
Pequeños	2	2	4	4	1	0	1	14
Medianos	5	2	4	1	1	1	0	14
Grandes	1	1	1	0	3	0	0	6
								34

Correlación entre el número de lactancias y el DFPO

Todas las vacas, sin importar el número de partos, desarrollaron folículos medianos, esto muestra que las bíparas desarrollan folículos solamente unos milímetros más grandes que las primíparas y las multíparas (cuadro 5). Al analizar los datos se observó que no existen diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$).

Cuadro 5. Diámetro del FPO según el número de partos.

N° de Partos	DFPO \pm D.E (mm)	Total
Primíparas	13.5 \pm 2.7	16
Bíparas	14.1 \pm 3.0	6
Multíparas	13.2 \pm 3.2	12

Estos resultados difieren a los reportados en un estudio realizado por Tanaka *et al* (2008) quienes manifestaron que las vacas primíparas podían desarrollar FPO de hasta 15.2 \pm 2.0 mm, vacas de segundo parto desarrollaron FPO de 17.0 \pm 2.3 mm y vacas con 3 o más partos desarrollaron FPO de 17.6 \pm 4.7mm en los días posteriores al parto; esa diferencia puede deberse a que este estudio fue realizado en vacas encastadas mientras que el de Tanaka se realizó en vacas Holstein.

Los resultados obtenidos también difieren de los reportados por Colazo *et al* (2015), quienes determinaron que el DFPO (en vacas Holstein) está asociado con la paridad y la longitud del protocolo IATF. Las vacas primíparas (16.1 \pm 0.2 mm) tenían folículos ovulatorios más pequeños que las vacas multíparas (16.7 \pm 0.2 mm).

CONCLUSIONES

El protocolo de sincronización de celos utilizado en esta investigación funciona bien en ganado encastado ya que, durante el estudio, todas las vacas sometidas a dicho protocolo mostraron signos de celo y desarrollo folicular.

Los factores que se considera que influyeron en el bajo desempeño del porcentaje de preñez (11.76%)

durante este estudio fueron: cambios en la dieta, inadecuado manejo del semen antes del servicio, poca higiene de los corrales, pisos en malas condiciones e irregularidades en la técnica de inseminación.

También se observó que tanto los folículos pequeños como medianos tienen iguales unidades en las vacas encastadas, no tanto así los folículos grandes que obtuvieron un menor porcentaje de observaciones.

Aunque el porcentaje de preñez fue mínimo (11.76%) el mayor número de preñeces se dio en vacas que desarrollaron folículos pequeños (%), contra una preñez en vacas que desarrollaron folículos grandes (%), mientras que en las vacas que desarrollaron folículos medianos (%) no se obtuvo ninguna preñez.

No se evidenció diferencia estadística significativa entre la Condición Corporal y el diámetro del folículo pre-ovulatorio, sin embargo, vacas con una condición corporal baja desarrollaron folículos más pequeños que aquellas con una condición corporal alta.

En este estudio se visualizó que a medida que avanza la edad de las vacas la tendencia en el diámetro del folículo pre-ovulatorio se mantiene en diámetros medianos, a pesar de ello, no hay estudios que relacionen la edad de las vacas con el diámetro del folículo pre-ovulatorio.

Las vacas encastadas, sin importar el número de partos, en promedio desarrollan folículos medianos, se identificó que las bíparas desarrollan folículos solamente un milímetro más grandes que las primíparas y las multíparas.

BIBLIOGRAFÍA

Badinga, L; Collier, RJ; Thatcher, WW; Wilcox, CJ. 1985. Effects of Climatic and Management Factors on Conception Rate of Dairy Cattle in Subtropical Environment (en línea). *Journal of Dairy Science* 68:78-85. Consultado el 09 de abril de 2020. Disponible en: [https://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302\(85\)80800-6/pdf?fbclid=IwAR1tSmZmL8LaAdXwq_Vjd-prA](https://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302(85)80800-6/pdf?fbclid=IwAR1tSmZmL8LaAdXwq_Vjd-prA)

- CKK241QoXENQPd7z4fy6YtMgWTWo8r7pLY Colazo, MG.; Behrouzi, A; Ambrose, DJ; Mapletoft, RJ. 2015. Diameter of the ovulatory follicle at timed artificial insemination as a predictor of pregnancy status in lactating dairy cows subjected to GnRH-bases protocols. *Theriogenology* 84: 377-383p.
- De Ondiz S, A; Perea G, F; Cruz A, R; Portillo M, G; Soto B, E. 2002. Evaluación ultrasonográfica del crecimiento del folículo ovulatorio en vacas anéstricas mestizas Cebú post-tratamiento con Norgestomet y eCG (en línea). *Arch. Latinoam. Prod. Anim.* 10(1): 20-23. Consultado el 21 ene. 2019. Disponible en: <http://www.alpa.org.ve/PDF/Arch%2010-1/100104.pdf>
- Del Valle D, T. 2008. Desarrollo Sostenible de Ganadería Doble Propósito in *Dinámica folicular ovárica durante el ciclo estral en vacas doble propósito* (en línea). p.246-254. Consultado 7 nov. 2018. Disponible en: http://www.avpa.ula.ve/libro_desarrollosost/pdf/capitulo_44.pdf
- Elanco Animal Health. 1997. *Body Condition Scoring In Dairy Cattle*. Consultado el 12 de mayo de 2020. Disponible en: http://cdrf.org/wp-content/uploads/2012/06/13_1_Body_condition_scoring.pdf?fbclid=IwAR2d-BfzYMUkBXO167wqUSTZCnuyA7Stoj9dAECICy6RcJ6cMYaW0FoQUJs
- Filipiak; Y; Viqueira, M; Bielli, A. 2016. Desarrollo y dinámica de los folículos ováricos desde la etapa fetal hasta la prepuberal en bovinos (en línea). Consultado 3dic.2018. Disponible en: <http://www.revistasmvu.com.uy/articulos-en-prensa/60-articulos-en-prensa/356-desarrollo-y-dinamica-de-los-foliculos-ovaricos-desde-la-etapa-fetal-hasta-la-prepuberal-en-bovinos.html#menu>
- García-Bracho, D; Hahn, M; Pino, D; Perea, F; Leal, M, 2015, Crecimiento folicular y diámetro del folículo dominante en vacas mestizas a pastoreo afectadas por claudicaciones agudas. *Revista Científica* (en línea) XXV (Mayo-Junio), Consultado el 19 de octubre de 2018, Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=95939206005>
- Garrido O, AR. 2010. La reproducción en el sistema doble propósito (en línea). Consultado el 18 dic. 2018. Disponible en: <https://www.engormix.com/ganaderia-carne/articulos/reproduccion-sistema-doble-proposito-t28344.htm>
- González S, C., 2015. Fertilidad y benchmarks en ganaderías doble propósito (en línea). Consultado el 28 de diciembre de 2018. Disponible en: <https://www.engormix.com/ganaderia-leche/articulos/fertilidadbenchmarks-ganaderias-doble-t31985.htm>
- Guáqueta H. 2009. Ciclo Estral. *Fisiología básica y estrategias para mejorar la detección de celos* (en línea). *Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia.* 56:163-183. Bogotá. Colombia. Consultado el 13 de mayo de 2020. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/4076/407639221003.pdf>
- Gutiérrez-Añez, J1; Boscán-Ocando, J1; Montero-Urdaneta, M; Portillo-Martínez, G. 2007. *Dinámica folicular de vacas mestizas en anestro tratadas con un progestágeno intravaginal más eCG y PGF2a.* (en línea). Consultado el 28 de diciembre de 2018. Disponible en: http://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/inseminacion_artificial/114-Gutierrez-DinamicaFolicular.pdf
- Gvozdić, D; Dovenski, T; Stan íć, I; Stan íć, B; Božić, A; Jovanović, I; Atanasov, B; Šuluburić, A. 2013. Hormonal methods for estrous cycle manipulation in dairy cows (en línea). *Contemporary Agriculture/Savremena Poljoprivreda* 62(3-4)319-332. Consultado el 16 mar. 2019. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/265731396_HORMONAL_METHODS_FOR_ESTROUS_CYCLE_MANIPULATION_IN_DAIRY_COWS
- Henríquez, B.F; Chávez R.A. 2004. Propuesta de una estructura de costos predeterminados estimados para establecer los márgenes de utilidad del sector dedicado a la explotación del ganado lechero en el municipio de Nueva Concepción Departamento de Chalatenango. Tesis. Lic. C.P. San Salvador, El Salvador. UFG. 182p
- Hernández C, J.; 2016. *Fisiología Clínica de la Reproducción de Bovinos Lecheros* (en línea).

- 1° Ed. México. 87 p. Consultado 24 ene. 2019. Disponible en: http://www.fmvz.unam.mx/fmvz/publicaciones/archivos/Fisiologia_Clinica.pdf
- INATEC (Instituto Nacional Tecnológico). 2016. Manual del protagonista. In Reproducción Animal (en línea). Consultado el 10 dic. 2018. Disponible en: https://www.jica.go.jp/project/nicaragua/007/materials/ku57pq0000224spz-att/Reproduccion_Animal.pdf
- López, FJ. 2006. Relación Entre Condición Corporal Y Eficiencia Reproductiva En Vacas Holstein. (en línea). Revista Facultad de Ciencias Agropecuarias. IV(1):77-86. Consultado el 09 de abril de 2020. Disponible en: <https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:B9Fbq9N5Q7AJ:https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo%3Fcodigo%3D6117891+&cd=2&hl=es&ct=clnk&gl=sv>
- Motta Delgado, PA; Ramos C, N; González S, CM; Castro R, EC. 2011. Dinámica folicular en la vida reproductiva de la hembra bovina (en línea). Vet.Zootec. 5(2): 88-99. Disponible en: <http://vip.ucaldas.edu.co/vetzootec/downloads/v5n2a08.pdf>
- Perry, GA; Smith, MF; Lucy, MC; Green, JA; Parks, TE; MacNeil, MD; Roberts, AJ; Geary, TW. 2005. Relationship between follicle size at insemination and pregnancy success (en línea). Proc Natl Acad Sci USA. 102(14): 5268-5273. Consultado el 16 ene. 2019. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC556005/>
- Sartori, R; Bastos, MR; Baruselli, PS; Gimenes, LU; Ereno, RL; Barros, CM. 2010. Physiological differences and implications to reproductive management of Bos taurus and Bos indicus cattle in a tropical environment. (en línea). Consultado el 27 de marzo de 2020. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21755684>
- Tanaka, T; Arai, M; Ohtani, S; Uemura, S; Kuroiwa, T; Kim, SJ; Kamomae, H. 2008. Influence of parity on follicular dynamics and resumption of ovarian cycle in postpartum dairy cows. (en línea). Animal Reproduction Science 108 (2008) 134-143 p. Consultado el 27 de marzo de 2020. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17826012>
- Thirunavukkarasu, M. y Kathivaran, G. 2009. Factors affecting conception rates in artificially inseminated bovines (en línea). Indian Journal of Animal Sciences 79 (9): 871-875. Consultado el 09 de abril de 2020. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/283298856_Factors_affecting_conception_rates_in_artificially_inseminated_bovines?fbclid=IwAR2orIZ4Fc9zrzj4aNOKmRIK7F-Q6gte7A8EcOHTXIR8i1FN3kAEjgWU7880
- Vallejo T, D.A; Muñoz R, Y.A; Chaves V, C.A; Astaíza M, J.M; Benavides M, C.J. 2017. Sincronización de la ovulación en bovinos utilizando gonadotropina coriónica equina con amamantamiento restringido y sin este. (en línea). Consultado el 11 dic. 2018. Disponible en: <http://sct.uab.cat/estadistica/sites/sct.uab.cat/estadistica/files/ManualSAS.PDF>
- Vergara I, YL. 2005. Relación entre el diámetro del folículo pre-ovulatorio y el porcentaje de preñez en ganado lechero. (en línea). Tesis Ing. Zamorano, Honduras, Zamorano. 35 p. Consultado el 3 dic. 2018. Disponible en: <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/5274/1/CPA-2005-T093.pdf>
- Walters, AH; Bailey, TL; Pearson, RE; Gwazdauskas, FC. 2002. Parity-Related Changes in Bovine Follicle and Oocyte Populations, Oocyte Quality, and Hormones to 90 Days Postpartum. (en línea). Journal of American Dairy Science Association. 85(4) 824-832 p. Consultado el 27 de marzo de 2020. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12018429/>



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

Artículo de investigación

Insectos y arácnidos asociados a la parte aérea del cultivo de ajonjolí (*Sesamum indicum* L.) en la Estación Experimental y de Prácticas de la Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador

Insects and arachnids associated with the aerial part of the sesame cultivation (*Sesamum indicum* L.) in the Experimental and Practice Station of the Faculty of Agronomic Sciences, University of El Salvador

Castillo-Salaverría, G.A.¹, Serrano-Cervantes, L.¹, Sermeño-Chicas, J.M.¹, Pérez, D.²

Correspondencia:
geovany.castillo@ues.edu.sv
leopoldo.cervantes@ues.edu.sv
jose.sermeno@ues.edu.sv
dagoberto.perez@ues.edu.sv

Presentado:
02 de septiembre de 2020
Aceptado:
23 de octubre de 2020

1 Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias Agronómicas, Departamento de Protección Vegetal.
2 Universidad de El Salvador, Facultad Multidisciplinaria Paracentral.

RESUMEN

La investigación se realizó de abril de 2019 a febrero de 2020 en la Estación Experimental y de Prácticas de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador, ubicada en el municipio de San Luis Talpa, departamento de La Paz, El Salvador. El objetivo de la investigación fue determinar la abundancia y riqueza de insectos y arácnidos como parte de la diversidad de artrópodos asociados a las diferentes fases fenológicas del cultivo de ajonjolí (*Sesamum indicum* L.). Para ello, se establecieron tres parcelas de 100 m², realizando muestreos cada quince días, utilizando red y recolecta manual. Se tomaron 10 sitios de muestreo en forma de "zig zag" muestreando un metro lineal en el surco donde se ubicó cada sitio por parcela. Se recolectaron 1,633 insectos, comprendiendo 11 órdenes, 72 familias y 56 géneros. La mayor población de insectos se observó durante la floración y fructificación del ajonjolí, los géneros más abundantes fueron *Oecleus* (Hemiptera: Cixiidae), *Carneocephala* (Hemiptera: Cicadellidae), *Cyrtopeltis* (Hemiptera: Miridae), *Apis mellifera* (Hymenoptera: Apidae), *Disonycha ovata* (Coleoptera: Chrysomelidae), *Estigmene acrea* (Lepidoptera: Arctiidae), *Chelonus* (Hymenoptera: Braconidae) y *Polybia* (Hymenoptera: Vespidae). Fueron más abundantes las familias Tenebrionidae y Gelechiidae asociados a las semillas de ajonjolí en almacenamiento. Se recolectaron 163 arañas, identificándose 7 familias y 17 géneros pertenecientes al orden Araneae. La familia más abundante fue Thomisidae y el género más abundante *Misumena*. Los insectos fitófagos representan el 58.85%, polinizadores 14.59%, insectos depredadores 10.18%, arañas 9.08%, parasitoides 6.63% y saprófagos 0.68%. El gremio alimenticio más abundante fue Picadores - chupadores con 66.04%, defoliadores externos 19.96%, carpófagos primarios 2.37%, minadores de hoja 1.89%, barrenadores de semilla 0.28%, y 9.46% de individuos defoliadores externos y carpófagos primarios. Se analizó el índice de diversidad de Margalef (D_{mg}), índice de Shannon-Wiener (H') e Índice de Simpson (D). La mayor riqueza de insectos (D_{mg}=7.95), equidad (H'=3.39) y menor dominancia (1-D=0.96) se obtuvo en la fase de fructificación. La relación entre las variables en estudio (p<0.05) indica que la riqueza y abundancia de insectos y arañas se ve influenciada por las fases fenológicas del cultivo de ajonjolí.

Palabras clave: Rol ecológico, gremio alimenticio, fase fenológica.

ABSTRACT

The research was carried out from April 2019 to February 2020 at the Experimental Station of the Faculty of Agronomic Sciences of the University of El Salvador, located in the municipality of San Luis Talpa, department of La Paz, El Salvador. The objective of the research was to determine the abundance and richness of insects and arachnids as part of the diversity of arthropods associated with the different phenological phases of the sesame (*Sesamum indicum* L.) crop. For this, three plots of 100 m² were established and sampled every fifteen days, using a net and manual collection. Ten sampling sites were taken in a "zig zag" manner, sampling a linear meter in the furrow where each site was located per plot. A total of 1,633 insects were collected, comprising 11 orders, 72 families and 56 genera. The largest population of insects was observed during the flowering and fruiting of sesame. The most abundant genera were *Oecleus* (Hemiptera: Cixiidae), *Carneocephala* (Hemiptera: Cicadellidae), *Cyrtopeltis* (Hemiptera: Miridae), *Apis mellifera* (Hymenoptera: Apidae), *Disony ovata* (Coleoptera: Chrysomelidae), *Stigmene acrea* (Lepidoptera: Arctiidae), *Chelonus* (Hymenoptera: Braconidae) and *Polybia* (Hymenoptera: Vespidae). The families Tenebrionidae and Gelechiidae associated with sesame seeds in storage were more abundant. One hundred and sixty-three spiders were collected, identifying 7 families and 17 genera belonging to the order Araneae. The most abundant family was Thomisidae and the most abundant genus *Misumena*. Phytophagous insects represented 58.85%, pollinators 14.59%, predatory insects 10.18%, spiders 9.08%, parasitoids 6.63% and saprophages 0.68%. The most abundant food guild was Picadores - suckers with 66.04%, external defoliators 19.96%, primary carpophagi 2.37%, leaf miners 1.89%, seed borers 0.28%, and 9.46% of external defoliators and primary carpophagi. The Margalef diversity index (Dmg), Shannon-Wiener index (H') and Simpson index (D) were determined. The highest richness of insects (Dmg = 7.95), equity (H' = 3.39) and lowest dominance (1-D = 0.96) were obtained in the fruiting phase. The relationship between the variables under study (p < 0.05) indicates that the richness and abundance of insects and spiders is influenced by the phenological phases of sesame cultivation.

Key words: Ecological role, food guild, phenological phase.

INTRODUCCIÓN

El registro de área de siembra de ajonjolí en El Salvador para los años 2017 - 2018 fue de 2,252 mz (1,587.66 Ha) y una producción promedio de 9.5 quintales por manzana (1,357 kg/ha) (MAG 2018). La investigación más detallada de diversidad y dinámica poblacional de insectos y arañas fue la de Maes y Robleto (1988) y Salazar (1999), ambas en Nicaragua. Los insectos han sido un elemento importante no sólo por su función en los ecosistemas terrestres, sino también por su influencia en las sociedades humanas (Guzmán *et al.* 2016). Los insectos fitófagos constituyen el grupo más numeroso de los insectos y dentro de éstos están los defoliadores, floeófagos, xilófagos, polinófagos, carpófagos y rizófagos (Montoya 2010). Igualmente, la presencia de insectos depredadores en los ecosistemas es fundamental para la regulación de poblaciones de insectos fitófagos (Gonzales *et al.* 2014). Los insectos parasitoides son organismos pequeños que depositan sus huevos dentro, sobre, o cerca de su hospedero. Hay diferentes especies que pueden parasitar huevos, larvas, pupas o adultos. Los órdenes

más importantes de parasitoides son Hymenoptera y Diptera (EAP 2001). **Además, es importante destacar la función de los polinizadores, que según** Montilla y Cedeño (1998), observaron que las plantas con flores expuestas a la polinización incrementaron su rendimiento. El orden Araneae es uno de los grupos de depredadores más comunes en agro-ecosistemas (Martínez 2006). La gran mayoría de los métodos propuestos para evaluar la diversidad de especies se refieren a la diversidad dentro de las comunidades (alfa). Para diferenciar los distintos métodos en función de las variables biológicas que miden, se dividen en dos grandes grupos: 1) Métodos basados en la cuantificación del número de especies presentes (riqueza específica); 2) Métodos basados en la estructura de la comunidad, es decir, la distribución proporcional del valor de importancia de cada especie (abundancia relativa de los individuos). Los métodos basados en la estructura pueden a su vez clasificarse en la dominancia o en la equidad de la comunidad (Moreno 2001).

El objetivo de esta investigación fue determinar la

abundancia y riqueza de insectos y arácnidos como parte de la diversidad de artrópodos asociados a las diferentes fases fenológicas del cultivo de ajonjolí (*Sesamum indicum L.*) en la Estación Experimental y de Prácticas de la Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación

La investigación se realizó en la Estación Experimental y de Prácticas de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador, ubicada en el cantón Talcualuya, municipio de San Luis Talpa, departamento de La Paz, El Salvador, a 50 metros sobre el nivel del mar, con coordenadas geográficas 13°28'3" Latitud Norte, 89°05'8" Longitud Oeste. La fase de campo se desarrolló de abril a julio de 2019 y la fase de laboratorio de mayo 2019 a febrero 2020.

Metodología de campo

Delimitación del terreno

Para el estudio se establecieron tres parcelas de 100 m² cada una, con una separación de cuatro metros entre parcela.

Siembra, preparación de terreno y manejo del cultivo

Cinco días antes de la siembra, se realizaron las labores de chapoda y riego en el área donde se establecieron las parcelas. El día de la siembra se realizó rastreado y surcado con tractor dejando un distanciamiento entre surco de 80 cm, posteriormente se realizó la siembra en forma manual a "chorro seguido", utilizando un cultivar de crecimiento ramificado, de semilla blanca. Las labores de manejo del cultivo de ajonjolí fueron: riego semanal por aspersión, limpieza de maleza manual semanalmente, aporco de las plantas y raleo, dejando 10 cm entre plantas. Durante todo el desarrollo del cultivo no se realizaron aplicaciones de plaguicidas sintéticos. El cultivo se cosechó posterior a los 90 días después de la germinación y se secó la semilla al aire libre.

Muestreos

Los muestreos se realizaron cada 15 días utilizando red entomológica aérea y recolecta manual, colocando los insectos en bolsas y frascos plásticos debidamente identificados con la siguiente información: por parcela, fecha y sitio de muestreo. Las arañas fueron preservadas en frascos plásticos, posteriormente en el laboratorio se les colocó alcohol etílico al 80%. Se realizaron seis muestreos en todo el ciclo del cultivo: tres en la fase de crecimiento vegetativo (15, 30 y 45 días después de la germinación), uno al inicio de la floración (60 días después de la germinación), uno en la fase de floración (75 días después de la germinación) y uno en la fase de fructificación (90 días después de la germinación). Se tomaron diez sitios de muestreo en forma de "zig zag", se muestreó un metro lineal en el surco donde se ubicó cada sitio en cada parcela. Los sitios de muestreo fueron señalados con estacas y se muestrearon, diez plantas por sitio.

Metodología de laboratorio

La fase de laboratorio se desarrolló de mayo de 2019 a febrero de 2020. Los insectos y arañas capturados en campo fueron trasladados al laboratorio 3 del Departamento de Protección Vegetal de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador, se colocaron en congelador (freezer) para lograr la muerte de los organismos. Los insectos inmaduros del orden Lepidoptera fueron criados hasta obtener el adulto. Se realizó un muestreo de insectos en 10 libras (4.54 kg) semillas en almacenamiento.

Procesamiento de organismos

Para el montaje de los insectos con sus respectivas viñetas se utilizó una gradilla entomológica para pinchado, insertando el alfiler en la parte dorsal entre el segundo y tercer par de patas, los insectos pequeños se colocaron en triángulos de papel con la utilización de pegamento. Luego los insectos se sometieron a un proceso de secado por 8 horas en estufa. Las arañas se depositaron en frascos con alcohol etílico al 80%. Los insectos se preservaron en cajas entomológicas.

Identificación de insectos y arañas

Se identificaron únicamente organismos de la clase Insecta y Arachnida, a nivel de orden, familia, género y especie cuando fue posible, a través de claves de identificación, además se determinó el rol ecológico y el gremio alimenticio al cual pertenece cada organismo. Para la observación de los especímenes se utilizó el microscopio estereoscópico.

Análisis de datos

Identificación de variables

La variable independiente del trabajo fue el conjunto de plantas de ajonjolí con sus diferentes fases fenológicas, y la variable dependiente correspondió a la comunidad de insectos y arañas.

Parámetros evaluados

Riqueza y abundancia de insectos y arañas según orden, familia y género; abundancia de insectos según gremio alimenticio; abundancia de insectos según rol ecológico; abundancia de insectos y arañas según fase fenológica del ajonjolí; influencia de la fenología del ajonjolí en las poblaciones de insectos y arañas; comparación de insectos y arañas, según rol ecológico, gremio alimenticio, fase fenológica y muestreos.

Procesamiento de datos

El procesamiento de datos se llevó a cabo por medio de los programas Microsoft Excel®, PAST versión 3.0, EstimateS versión 9.1 y IBM® SPSS Statistics versión 22.

Análisis y presentación de datos

La riqueza y abundancia de insectos y arañas se presentaron en cuadros para denotar los órdenes, familias, géneros y especies que se encontraron, así mismo la abundancia de cada especie se expresó en abundancia absoluta y relativa. Se elaboraron gráficos de barras, y se generó una curva de acumulación de especies, con el propósito de evaluar la efectividad del

esfuerzo de muestreo realizado. Se hizo una prueba de regresión lineal para conocer la relación entre las variables en estudio y de esa forma obtener una ecuación que indica la población de insectos y arañas que es posible encontrar en el cultivo de ajonjolí dependiendo de la cantidad de días transcurridos desde la germinación hasta el momento que se realiza el muestreo. Para comparar la diversidad de insectos y arañas presentes en el agro-ecosistema de ajonjolí, se utilizaron los índices de diversidad de Margalef, Shannon-Wiener y Simpson. Se calcularon y analizaron los índices de diversidad para familias y géneros de insectos y arañas según fase fenológica del cultivo de ajonjolí.

Índice de diversidad de Margalef (D_{mg})

Se basa en que existe una relación fundamental entre el número total de individuos; entre menos especies el valor tiende a ser cero y es igual a cero cuando hay solo una especie. Dónde: S: número de especies. N: número total de individuos. ln: logaritmo natural. Índice con valores menores a 2.00 denotan una baja riqueza de especies y valores cercanos a 5.00 o superiores reflejan una riqueza de especies alta (Mora *et al.* 2017).

Índice de Shannon-Wiener (H')

Se utilizó porque expresa la uniformidad de los valores de importancia a través de todas las especies de la muestra (Magurran 1988). Dónde: S: número de especies. P_i: proporción de individuos de las especies *i* respecto al total de individuos (n_i/N). N_i: número de individuos de la especie *i*. N: número de todos los individuos de todas las especies. Su valor normal está entre 2 y 3; valores inferiores a 2 se consideran bajos y superiores a 3 son altos (Mora *et al.* 2017).

Índice de Simpson (D)

Manifiesta la probabilidad de que dos individuos al azar de una muestra sean de la misma especie. Está fuertemente influido por la importancia de las especies más dominante (Magurran 1988). Dónde: P_i: abundancia proporcional de la especie *i*, es decir, el

número de individuos de la especie *i* dividido entre el número total de individuos de la muestra. El valor del índice oscila entre 0 y 1, cuanto mayor es el valor, mayor es la diversidad de la muestra (Briceño 2019).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se encontraron 11 órdenes de insectos, siendo el más abundante los Hymenoptera con 23.66%, seguido del orden Hemiptera: Heteroptera con 22.99%. Durante todas las fases fenológicas del cultivo de ajonjolí se encontraron 1,633 insectos que representan el 90.92% y 163 arañas pertenecientes al orden Araneae, que representan el 9.08% del total de organismos capturados. Las poblaciones de insectos y arañas en el cultivo de ajonjolí aumentaron durante cada fase fenológica del cultivo de ajonjolí (Cuadro 1). Esto indica que la fase fenológica del cultivo influye en las abundancias de insectos, observándose que donde existe más follaje en la planta es más atractivo para insectos fitófagos y por lo tanto también incrementan las poblaciones de insectos depredadores y parasitoides; igualmente las poblaciones de insectos polinizadores se ven influenciadas por la fase de floración del cultivo de ajonjolí. Durante las fases fenológicas del cultivo de ajonjolí, se identificaron

72 familias y 56 géneros de insectos. Las familias que presentaron más abundancia fueron Cicadellidae, Chrysomelidae, Miridae, Cixiidae y Apidae. La distribución queda de la siguiente manera: 31 familias fitófagos, 13 depredadores, 9 polinizadores, 10 parasitoides, 3 saprófagos, 2 familias que sus larvas son saprófagos y sus adultos fitófagos, y una familia que posee organismos fitófagos y parasitoides. Los resultados obtenidos no coinciden con los de Maes y Robleto (1988), quienes presentaron en Nicaragua un catálogo de insectos y arácnidos en el cultivo de ajonjolí, donde reportan 10 órdenes, 25 familias de insectos, y dos familias de arañas.

Riqueza, abundancia y dinámica poblacional de familias y géneros del orden Hemiptera: Heteroptera, relacionados con la fase fenológica del ajonjolí

Dentro de este suborden de Hemiptera se registraron 12 familias y 10 géneros. Miridae fue la familia, más abundante de Heteroptera, seguido de Berytidae y Pentatomidae (Cuadro 2). Miridae, Lygaeidae y Berytidae, tuvieron presencia en todas las fases fenológicas del cultivo de ajonjolí. Las familias Alydidae y Pentatomidae, aumentaron su

Cuadro 1. Riqueza y abundancia de órdenes de insectos y arañas, recolectados durante las fases fenológicas del cultivo de ajonjolí.

Orden	Abundancia de insectos y arañas durante las fases fenológicas del cultivo de ajonjolí							
	Crecimiento vegetativo			Inicio de floración	Floración	Fructificación		%
	15 ddg	30 ddg	45 ddg	60 ddg	75 ddg	90 ddg		
Hymenoptera	12	20	41	66	190	96	23.66%	
Hemiptera : Heteroptera	34	44	66	62	81	126	22.99%	
Hemiptera : Auchenorrhyncha	67	71	61	66	34	62	20.10%	
Coleoptera	7	8	50	73	53	45	13.14%	
Araneae	5	12	15	30	42	59	9.08%	
Diptera	8	9	20	14	11	17	4.39%	
Lepidoptera	2	1	1	20	20	14	3.22%	
Orthoptera	3	5	10	11	16	9	3.01%	
Psocoptera	0	2	0	0	0	1	0.17%	
Neuroptera	0	0	0	0	2	0	0.11%	
Mantodea	0	0	0	0	1	0	0.06%	
Ephemeroptera	0	0	0	0	0	1	0.06%	
Total	138	172	264	342	450	430	100%	

ddg: días después de germinación de la semilla de ajonjolí.

abundancia relativa a medida el cultivo entró a su fase de fructificación, alimentándose directamente del fruto. El género fitófago más abundante de Heteroptera en el cultivo de ajonjolí fue *Cyrtopeltis* y el único género que se registró en todas las fases fenológicas. Los géneros *Falconia*, *Prepops latipennis*, *Corimelaena*, *Galgupha* y *Oebalus* se registraron en menor abundancia. Los géneros *Euschistus*, *Thyanta*, *Acrosternum* y *Hyalymenus*, mostraron mayor presencia en la fase de fructificación del

ajonjolí (Cuadro 3). Los géneros con comportamiento depredadores fueron: *Podisus*, *Geocoris*, *Sinea*, *Zelus*, *Apiomerus* y *Emesaya* (Cuadro 4). Los resultados obtenidos, coinciden con los de Maes y Robleto (1988), quienes describen los géneros *Cyrtopeltis tenuis*, *Euschistus*, *Galgupha guttiger* como asociados al cultivo de ajonjolí. Salazar (1999), menciona que los insectos que presentaron las más altas poblaciones en el cultivo de ajonjolí asociados al fruto (cápsula) fueron *Nezara viridula*, *Euschistus*, *Hyalymenus*.

Cuadro 2. Riqueza, abundancia y dinámica poblacional de familias de Hemiptera: Heteroptera, recolectados durante las fases fenológicas del cultivo de ajonjolí.

Familia	Abundancia de insectos durante las fases fenológicas del cultivo de ajonjolí.						Total	%
	Crecimiento vegetativo			Inicio de floración	Floración	Fructificación		
	15 ddg	30 ddg	45 ddg	60 ddg	75 ddg	90 ddg		
Miridae	23	32	25	21	26	27	154	37.29%
Berytidae	9	7	15	10	17	21	79	19.13%
Pentatomidae	0	0	7	10	14	25	56	13.56%
Lygaeidae	1	2	3	9	7	13	35	8.47%
Alydidae	0	0	0	1	12	12	25	6.05%
Reduviidae	0	1	2	3	2	11	19	4.60%
Scutelleridae	0	0	4	2	1	5	12	2.91%
Corimelaenidae	0	0	4	2	1	5	12	2.90%
Coreidae	0	0	0	3	1	4	8	1.94%
Geocoridae	0	2	2	0	0	2	6	1.45%
Tingidae	1	0	2	0	0	1	4	0.97%
Rhopalidae	0	0	2	1	0	0	3	0.73%
Total	34	44	66	62	81	126	413	100%

ddg: días después de germinación de la semilla de ajonjolí.

Cuadro 3. Riqueza, abundancia y dinámica poblacional de géneros fitófagos de Hemiptera: Heteroptera, recolectados durante las fases fenológicas del cultivo de ajonjolí.

Género	Crecimiento vegetativo			Inicio de floración	Floración	Fructificación
	15 ddg	30 ddg	45 ddg	60 ddg	75 ddg	90 ddg
<i>Cyrtopeltis</i> sp.	21	18	18	14	24	22
<i>Falconia</i> sp.	2	12	3	0	1	1
<i>Prepops latipennis</i>	0	0	0	6	1	3
<i>Corimelaena</i> sp.	0	0	2	0	0	0
<i>Galgupha</i> sp.	0	0	1	2	2	4
<i>Euschistus</i> sp.	0	0	4	0	2	5
<i>Thyanta</i> sp.	0	0	0	2	1	3
<i>Oebalus</i> sp.	0	0	0	3	2	0
<i>Acrosternum</i> sp.	0	0	0	0	0	7
<i>Hyalymenus</i> sp.	0	0	0	0	12	10

ddg: días después de germinación de la semilla de ajonjolí.

Cuadro 4. Riqueza, abundancia y dinámica poblacional de géneros depredadores de Hemiptera: Heteroptera, recolectados durante las fases fenológicas del cultivo de ajonjolí.

Género	Crecimiento vegetativo			Inicio de floración	Floración	Fructificación
	15 ddg	30 ddg	45 ddg	60 ddg	75 ddg	90 ddg
<i>Podisus</i> sp.	0	0	2	5	9	10
<i>Geocoris</i> sp.	0	2	2	0	0	2
<i>Sinea</i> sp.	0	1	1	3	1	2
<i>Zelus</i> sp.	0	0	1	0	0	5
<i>Apiomerus</i> sp.	0	0	0	0	1	2
<i>Emesaya</i> sp.	0	0	0	0	0	2

ddg: días después de germinación de la semilla de ajonjolí.

Riqueza, abundancia y dinámica poblacional de familias y géneros del orden Hemiptera: Auchenorrhyncha, relacionados con la fase fenológica del ajonjolí

Dentro de este suborden de Hemiptera se registraron 8 familias y 10 géneros. Cicadellidae fue la familia más abundante de Auchenorrhyncha, seguido de Cixiidae, ambas familias estuvieron presentes en todas las fases fenológicas del cultivo; Flatidae, Delphacidae, Dyctiopharidae, Membracidae, Issidae y Acanaloniidae se registraron en menor abundancia (Cuadro 5). El género *Oecleus* fue el más abundante de Auchenorrhyncha, seguido de *Carneocephala*. Los géneros *Sibovia*, *Texananus* y *Oecleus* se registraron durante todo el ciclo del cultivo. *Erythrogonia*, *Oncometopia*, *Agallia*, *Draeculacephala*, *Dalbulus* y *Acanalonia* también fueron en menor

abundancia asociados al cultivo de ajonjolí (Cuadro 6). Los resultados obtenidos coinciden con los de Maes y Robleto (1988), quienes mencionan a las especies *Carneocephala sagittifera*, *Dalbulus maidis*, *Draeculacephala lenticula*, *Oncometopia clarioir* como asociados al cultivo de ajonjolí en Nicaragua.

Riqueza, abundancia y dinámica poblacional de familias y géneros del orden Orthoptera, relacionados con la fase fenológica del ajonjolí

Se registraron 5 familias y 4 géneros. La familia Acrididae fue la más abundante, seguido de Tettigoniidae. Se registraron en menor abundancia Tridactylidae, Tetrigidae, Gryllidae. Acrididae y Tettigoniidae se registraron a partir de los 30 días después de la germinación del ajonjolí (Cuadro 7). Se observaron los géneros *Orphulella*, *Schistocerca*, *Conocephalus* y *Caulopsis*, siendo *Orphulella* el más

Cuadro 5. Riqueza, abundancia y dinámica poblacional de familias de Hemiptera: Auchenorrhyncha, recolectados durante las fases fenológicas del cultivo de ajonjolí.

Familia	Abundancia de insectos durante las fases fenológicas del cultivo de ajonjolí.						Total	%
	Crecimiento vegetativo			Inicio de floración	Floración	Fructificación		
	15 ddg	30 ddg	45 ddg	60 ddg	75 ddg	90 ddg		
Cicadellidae	37	38	36	40	16	22	189	52.35%
Cixiidae	25	26	20	16	13	29	129	35.73%
Delphacidae	5	6	1	1	0	0	13	3.60%
Dyctiopharidae	0	0	4	4	2	1	11	3.04%
Membracidae	0	1	0	2	3	4	10	2.77%
Flatidae	0	0	0	2	0	3	5	1.39%
Issidae	0	0	0	0	0	3	3	0.83%
Acanaloniidae	0	0	0	1	0	0	1	0.27%
Total	67	71	61	66	34	62	361	100%

ddg: días después de germinación de la semilla de ajonjolí.

abundante y se encontraron a partir de los 30 días después de la germinación (Cuadro 8). Los resultados obtenidos coinciden con los de Maes y Robleto (1988), quienes mencionan a la especie *Caulopsis cuspidatus* asociado al cultivo de ajonjolí. SAGARPA (2016),

define que en Centro América existen cuatro especies de *Schistocerca* asociadas al ajonjolí: *Schistocerca piceifrons*, *Schistocerca pallens*, *Schistocerca nitens* y *Schistocerca centralis*.

Cuadro 6. Riqueza, abundancia y dinámica poblacional de géneros de Hemiptera: Auchenorrhyncha, recolectados durante las fases fenológicas del cultivo de ajonjolí.

Género	Crecimiento vegetativo			Inicio de floración	Floración	Fructificación
	15 ddg	30 ddg	45 ddg	60 ddg	75 ddg	90 ddg
<i>Oecleus</i> sp.	25	26	20	16	13	29
<i>Sibovia</i> sp.	7	2	8	5	7	3
<i>Carneocephala</i> sp.	11	17	9	3	0	0
<i>Texanus</i> sp.	5	1	7	8	1	8
<i>Dalbulus</i> sp.	1	0	3	1	0	2
<i>Agallia</i> sp.	6	9	3	1	0	0
<i>Draeculacephala</i> sp.	2	0	0	1	2	4
<i>Erythrogonia</i> sp.	0	0	4	13	2	1
<i>Oncometopia</i> sp.	0	0	0	4	4	4
<i>Acanalonia</i> sp.	0	0	0	1	0	0

ddg: días después de germinación de la semilla de ajonjolí.

Cuadro 7. Riqueza, abundancia y dinámica poblacional de familias de Orthoptera, recolectados durante las fases fenológicas del cultivo de ajonjolí.

Familia	Abundancia de insectos durante las fases fenológicas del cultivo de ajonjolí.						Total	%
	Crecimiento vegetativo			Inicio de floración	Floración	Fructificación		
	15 ddg	30 ddg	45 ddg	60 ddg	75 ddg	90 ddg		
Acrididae	0	4	6	7	8	6	31	57.41%
Tettigoniidae	0	1	2	3	7	3	16	29.63%
Tridactylidae	3	0	2	0	0	0	5	9.26%
Tetrigidae	0	0	0	1	0	0	1	1.85%
Gryllidae	0	0	0	0	1	0	1	1.85%
Total	3	5	10	11	16	9	54	100%

ddg: días después de germinación de la semilla de ajonjolí.

Cuadro 8. Riqueza, abundancia y dinámica poblacional de géneros de Orthoptera, recolectados durante las fases fenológicas del cultivo de ajonjolí.

Género	Crecimiento vegetativo			Inicio de floración	Floración	Fructificación
	15 ddg	30 ddg	45 ddg	60 ddg	75 ddg	90 ddg
<i>Conocephalus</i> sp.	0	1	2	3	3	3
<i>Caulopsis</i> sp.	0	0	0	0	3	0
<i>Orphulella</i> sp.	0	3	4	5	5	4
<i>Schistocerca</i> sp.	0	0	0	1	1	1

ddg: días después de germinación de la semilla de ajonjolí.

Riqueza, abundancia y dinámica poblacional de familias del orden Diptera, relacionados con la fase fenológica del ajonjolí

Se registraron 11 familias, para las cuales Dolichopodidae y Syrphidae, fueron las más abundantes identificadas con un porcentaje similar (Cuadro 9). Dolichopodidae se registró durante todo el ciclo del cultivo del ajonjolí, mientras que Syrphidae

a partir de los 30 días después de la germinación. Los estados adultos de las familias Dolichopodidae, Asilidae y Micropezidae corresponden a organismos depredadores. Los polinizadores son: Syrphidae, Mydidae y Stratiomyidae. Dentro de Diptera no fue posible identificar géneros. Maes y Robleto (1988), mencionan a la especie *Pseudodoros clavatus* (Syrphidae) como asociada al cultivo de ajonjolí en Nicaragua.

Cuadro 9. Riqueza, abundancia y dinámica poblacional de familias de Diptera, recolectados durante las fases fenológicas del cultivo de ajonjolí.

Familia	Abundancia de insectos durante las fases fenológicas del cultivo de ajonjolí.							Total	%
	Crecimiento vegetativo			Inicio de floración	Floración	Fructificación			
	15 ddg	30 ddg	45 ddg	60 ddg	75 ddg	90 ddg			
Dolichopodidae	8	8	5	4	3	3	31	39.24%	
Syrphidae	0	1	8	6	5	10	30	37.97%	
Stratiomyidae	0	0	1	0	1	3	5	6.33%	
Mydidae	0	0	1	2	0	1	4	5.06%	
Muscidae	0	0	2	0	0	0	2	2.53%	
Therevidae	0	0	1	1	0	0	2	2.53%	
Ulidae	0	0	1	0	0	0	1	1.26%	
Lonchaeidae	0	0	1	0	0	0	1	1.26%	
Asilidae	0	0	0	1	0	0	1	1.26%	
Bibionidae	0	0	0	0	1	0	1	1.26%	
Micropezidae	0	0	0	0	1	0	1	1.26%	
Total	8	9	20	14	11	17	79	100%	

ddg: días después de germinación de la semilla de ajonjolí.

Riqueza, abundancia y dinámica poblacional de familias y géneros del orden Coleoptera, relacionados con la fase fenológica del ajonjolí

Se registraron 11 familias y 10 géneros. Chrysomelidae fue la familia más abundante de Coleoptera y la única registrada durante todo el ciclo del cultivo, seguido de Curculionidae y Staphylinidae (Cuadro 10). Carabidae, Staphylinidae y Cantharidae corresponden a organismos depredadores. *Disonycha ovata* fue el género más abundante de Coleoptera, seguido de *Alagoasa* y *Omophoita* (Cuadro 11). *Diabrotica balteata*, *Diabrotica* sp., *Disonycha ovata*,

Colaspis sp., *Systema* sp., *Alagoasa jacobiana*, *Alagoasa cardinalis*, *Omophoita* registrados como organismos fitófagos defoliadores asociados al cultivo de ajonjolí, *Chauliognathus* en menor abundancia se identificó como organismo depredador. Los resultados coinciden con los de Maes y Robleto (1988), que incluyeron entre los insectos asociados al ajonjolí en Nicaragua a las especies *Alagoasa virgata*, *Colaspis* sp., *Diabrotica* sp., *Omophoita aequinoctialis*. Leyva y Padilla (1998), mencionan a *Diabrotica balteata*, *Diabrotica viridula* y *Diabrotica biannularis* asociadas al cultivo de ajonjolí.

Cuadro 10. Riqueza, abundancia y dinámica poblacional de familias de Coleoptera, recolectados durante las fases fenológicas del cultivo de ajonjolí.

Familia	Abundancia de insectos durante las fases fenológicas del cultivo de ajonjolí.						Total	%
	Crecimiento vegetativo			Inicio de floración	Floración	Fructificación		
	15 ddg	30 ddg	45 ddg	60 ddg	75 ddg	90 ddg		
Chrysomelidae	5	8	36	64	40	28	181	76.69%
Curculionidae	2	0	12	4	1	1	20	8.47%
Staphylinidae	0	0	0	2	10	8	20	8.47%
Tenebrionidae	0	0	0	1	0	3	4	1.69%
Cantharidae	0	0	0	0	2	1	3	1.27%
Carabidae	0	0	1	0	0	1	2	0.85%
Cerambycidae	0	0	0	2	0	0	2	0.85%
Rhynchophoridae	0	0	1	0	0	0	1	0.42%
Rhipiphoridae	0	0	0	0	0	1	1	0.42%
Elateridae	0	0	0	0	0	1	1	0.42%
Nitidulidae	0	0	0	0	0	1	1	0.42%
Total	7	8	50	73	53	45	236	100%

ddg: días después de germinación de la semilla de ajonjolí.

Cuadro 11. Riqueza, abundancia y dinámica poblacional de géneros de Coleoptera, recolectados durante las fases fenológicas del cultivo de ajonjolí.

Género	Crecimiento vegetativo			Inicio de floración	Floración	Fructificación
	15 ddg	30 ddg	45 ddg	60 ddg	75 ddg	90 ddg
<i>Diabrotica balteata</i>	4	1	0	2	1	1
<i>Diabrotica</i> sp.	0	1	3	4	6	1
<i>Omophoita</i> sp.	0	3	6	7	4	1
<i>Disonycha ovata</i>	0	0	10	12	10	6
<i>Colaspis</i> sp.	0	0	2	6	3	2
<i>Systema</i> sp.	0	0	0	1	1	1
<i>Alagoasa jacobiana</i>	0	0	2	5	1	4
<i>Alagoasa cardinalis</i>	0	0	0	0	3	3
<i>Alagoasa</i> sp.	0	0	8	9	4	2
<i>Chauliognathus</i> sp.	0	0	0	0	1	1

ddg: días después de germinación de la semilla de ajonjolí.

Riqueza, abundancia y dinámica poblacional de familias y géneros del orden Hymenoptera, relacionados con la fase fenológica del ajonjolí

Con un total de 17 familias y 14 géneros. La familia más abundante fue Apidae. Vespidae y Formicidae registraron presencia en todas las fases fenológicas del cultivo de ajonjolí (Cuadro 12). Eurytomidae, Pteromalidae, Perilampidae, Megachilidae y Pompilidae, se encontraron representadas únicamente por un organismo en todo el ciclo del cultivo. Braconidae se registró a partir de los 30

días después de la germinación del ajonjolí. Los insectos polinizadores más abundantes fueron: Apidae, Halictidae y Anthophoridae. Mientras que Braconidae, Scelionidae y Tiphidae con función de parasitoides y Vespidae de depredadores. *Polybia* que es un insecto depredador tuvo presencia en todas las fases fenológicas del cultivo (Cuadro 13). *Tiphia*, *Chelonus* y *Apanteles* corresponden a insectos parasitoides. *Apis mellifera*, *Xylocopa*, *Euglossa*, *Trigona*, *Nanotrigona*, *Plebeia*, *Trigonisca*, *Anthophora*, *Augochlora*, y *Lasioglossum*, representan

organismos polinizadores. Los resultados obtenidos coinciden con Salazar (1999), reportando a *Chelonus* y *Polybia* como insectos más abundantes asociados al ajonjolí. Oliveira y Magalhaes (2013), describen a

Apis mellifera, *Trigona spinipes*, *Xylocopa grisescens* y *Xylocopa cearensis* como abejas polinizadoras asociadas al ajonjolí.

Cuadro 12. Riqueza, abundancia y dinámica poblacional de familias de Hymenoptera, recolectados durante las fases fenológicas del cultivo de ajonjolí.

Familia	Abundancia de insectos durante las fases fenológicas del cultivo de ajonjolí.						Total	%
	Crecimiento vegetativo			Inicio de floración	Floración	Fructificación		
	15 ddg	30 ddg	45 ddg	60 ddg	75 ddg	90 ddg		
Apidae: Meliponinae	0	0	4	4	79	7	94	22.11%
Apidae	0	0	1	23	32	9	65	15.29%
Braconidae	0	8	8	5	7	23	51	12.00%
Halictidae	0	0	1	10	24	15	50	11.76%
Formicidae	7	2	8	3	7	7	34	8.00%
Vespidae	2	2	3	2	5	12	26	6.12%
Chalcidoidea	1	4	3	3	7	6	24	5.64%
Cynipidae	0	1	8	4	4	3	20	4.71%
Scelionidae	0	1	0	1	9	3	14	3.29%
Anthophoridae	0	0	0	8	4	2	14	3.29%
Tiphiidae	0	0	1	0	7	2	10	2.35%
Chalcididae	2	1	3	0	0	0	6	1.41%
Ichneumonidae	0	1	1	0	1	3	6	1.41%
Platygastroidea	0	0	0	0	0	3	3	0.70%
Colletidae	0	0	0	0	2	0	2	0.47%
Eurytomidae	0	0	0	1	0	0	1	0.24%
Perilampidae	0	0	0	0	1	0	1	0.24%
Megachilidae	0	0	0	0	1	0	1	0.24%
Pompilidae	0	0	0	0	0	1	1	0.24%
Pteromalidae	0	0	0	1	0	0	1	0.24%
Proctotrupoidea	0	0	0	1	0	0	1	0.24%
Total	12	20	41	66	190	96	425	100%

ddg: días después de germinación de la semilla de ajonjolí.

Riqueza, abundancia y dinámica poblacional de familias y géneros del orden Lepidoptera, relacionados con la fase fenológica del ajonjolí

Se registraron 5 familias y 2 géneros. La familia más abundante fue Arctiidae. Pyralidae, Noctuidae, Hesperidae y Nymphalidae se registraron en menor abundancia (Cuadro 14). *Estigmene acrea* fue el

género más abundante de Lepidoptera. *Trichoplusia* únicamente se registró a los 15 días y 60 días después de la germinación (Cuadro 15). Maes y Robleto (1988), Leyva y Padilla (1998), describen a *Estigmene acrea* y *Trichoplusia ni* como asociados al cultivo de ajonjolí.

Cuadro 13. Riqueza, abundancia y dinámica poblacional de géneros de Hymenoptera, recolectados durante las fases fenológicas del cultivo de ajonjolí.

Género	Crecimiento vegetativo			Inicio de floración	Floración	Fructificación
	15 ddg	30 ddg	45 ddg	60 ddg	75 ddg	90 ddg
<i>Polybia</i> sp.	2	2	2	2	2	11
<i>Chelonus</i> sp.	0	2	1	2	2	16
<i>Apanteles</i> sp.	0	0	0	0	0	1
<i>Apis mellifera</i>	0	0	0	21	26	2
<i>Xylocopa</i> sp.	0	0	0	0	3	4
<i>Euglossa</i> sp.	0	0	0	0	1	1
<i>Trigona</i> sp.	0	0	5	3	32	4
<i>Nanotrigona</i> sp.	0	0	0	1	2	2
<i>Plebeia</i> sp.	0	0	0	0	25	3
<i>Trigonisca</i> sp.	0	0	0	0	18	1
<i>Tiphia</i> sp.	0	0	1	0	7	2
<i>Augochlora</i> sp.	0	0	1	6	8	8
<i>Lasioglossum</i> sp.	0	0	0	4	14	6
<i>Anthophora</i> sp.	0	0	0	6	4	2

ddg: días después de germinación de la semilla de ajonjolí.

Cuadro 14. Riqueza, abundancia y dinámica poblacional de familias de Lepidoptera, recolectados durante las fases fenológicas del cultivo de ajonjolí.

Familia	Abundancia de insectos durante las fases fenológicas del cultivo de ajonjolí.						Total	%
	Crecimiento vegetativo			Inicio de floración	Floración	Fructificación		
	15 ddg	30 ddg	45 ddg	60 ddg	75 ddg	90 ddg		
Arctiidae	0	0	0	19	19	13	51	87.93%
Pyralidae	1	0	1	0	0	0	2	3.45%
Noctuidae	1	0	0	1	0	0	2	3.45%
Hesperiidae	0	0	0	0	1	1	2	3.45%
Nymphalidae	0	1	0	0	0	0	1	1.72%
Total	2	1	1	20	20	14	58	100.00%

ddg: días después de germinación de la semilla de ajonjolí.

Cuadro 15. Riqueza, abundancia y dinámica poblacional de géneros de Lepidoptera, recolectados durante las fases fenológicas del cultivo de ajonjolí.

Género	Crecimiento vegetativo			Inicio de floración	Floración	Fructificación
	15 ddg	30 ddg	45 ddg	60 ddg	75 ddg	90 ddg
<i>Trichoplusia</i> sp.	1	0	0	1	0	0
<i>Estigmene acrea</i>	0	0	0	18	19	13

ddg: días después de germinación de la semilla de ajonjolí.

Insectos encontrados en semillas de ajonjolí en almacenamiento

Se identificó el orden Lepidoptera y Coleoptera, pertenecientes a las familias Tenebrionidae, Nitidulidae, Mycetophagidae, Scolytidae y

Gelechiidae. Las más abundantes fueron: Tenebrionidae en estado adulto y Gelechiidae en estado larval (Figura 1).

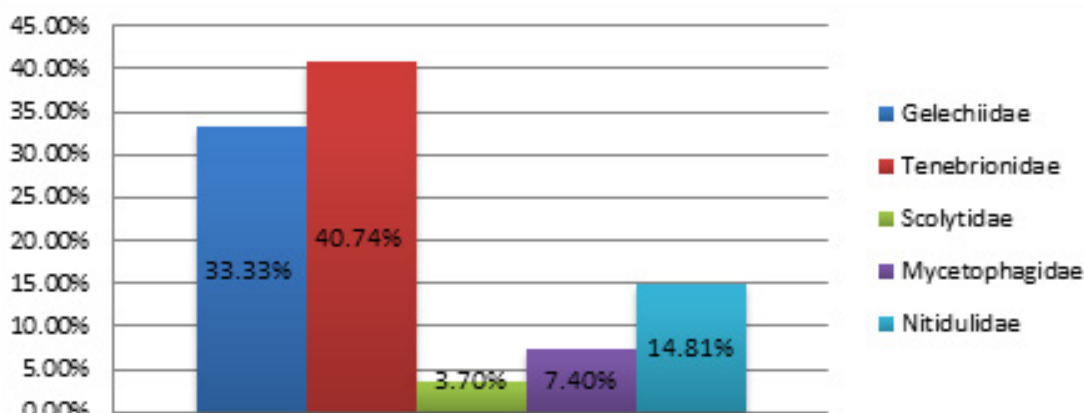


Figura 1. Abundancia relativa de familias de insectos encontrados en semillas en almacenamiento.

Abundancia y dinámica poblacional de insectos según rol ecológico

Se identificaron 5 roles ecológicos: fitófago, depredador, parasitoide, polinizador, saprófago, e igualmente se incluye a las arañas como organismos depredadores. Los insectos fitófagos fueron los más abundantes en el cultivo de ajonjolí (58.85%) (Cuadro 16). Al tomar de referencia el catálogo de Maes y Robleto (1988), se encontró que este estudio el 78.46% de insectos descritos corresponden a fitófagos, 13.85% a depredadores, 1.53% a parasitoides, 3.08% a polinizadores y 3.08% a Saprófagos, estos datos no coinciden con los resultados de esta investigación.

Abundancia y dinámica poblacional de insectos según gremio alimenticio

El gremio alimenticio más abundante en el cultivo de ajonjolí fueron los Picadores- chupadores (66.04%), seguido de los Defoliadores externos (19.96%) (Cuadro 17). El catálogo de insectos asociados al cultivo de ajonjolí en Nicaragua por Maes y Robleto (1988), documentó que el 50.98% corresponde a insectos Picadores - chupadores, 43.13% a Defoliadores externos, 3.92% a Barrenadores de semilla o ramas y 1.96% a Carpófagos primarios. Los resultados obtenidos coinciden con esta referencia en cuanto al orden de proporción de los insectos Picadores-Chupadores y defoliadores.

Cuadro 16. Abundancia de insectos y arañas según rol ecológico, recolectados durante las fases fenológicas del cultivo de ajonjolí.

Rol ecológico	Abundancia de insectos según rol ecológico, encontrados durante las fases fenológicas del cultivo de ajonjolí						Total	%
	Crecimiento vegetativo		Inicio de floración		Fructificación			
	15 ddg	30 ddg	45 ddg	60 ddg	75 ddg	90 ddg		
Fitófago	113	124	189	226	185	220	1,057	58.85%
Polinizador	0	2	16	51	145	48	262	14.59%
Depredador (Insectos)	17	17	24	24	46	55	183	10.18%
Depredador (Arañas)	5	12	15	30	42	59	163	9.08%
Parasitoide	3	15	16	11	32	42	119	6.63%
Saprófago	0	2	2	1	1	6	12	0.67%
Total	138	172	262	343	451	430	1,796	100.00%

ddg: días después de germinación de la semilla de ajonjolí.

Cuadro 17. Abundancia de insectos según gremio alimenticio, recolectados durante las fases fenológicas del cultivo de ajonjolí.

Gremio alimenticio	Abundancia de insectos según gremio alimenticio, encontrados durante las fases fenológicas del cultivo de ajonjolí							Total	%
	Crecimiento vegetativo			Inicio de floración	Floración	Fructificación			
	15 ddg	30 ddg	45 ddg	60 ddg	75 ddg	90 ddg			
Picadores-chupadores (P.C.)	102	110	122	118	93	153	698	66.04%	
Defoliadores externos (D.E.)	10	13	60	100	17	11	211	19.96%	
Carpófagos primarios (C.P.) / Defoliadores externos (D.E.)	0	0	0	0	59	41	100	9.46%	
Carpófagos primarios (C.P.)	0	0	0	1	12	12	25	2.37%	
Minadores de hoja (M)	0	1	7	5	4	3	20	1.89%	
Barrenadores de semilla o ramas (B.S.)	1	0	0	2	0	0	3	0.28%	
Total	113	124	189	226	185	220	1,057	100%	

ddg: días después de germinación de la semilla de ajonjolí.

Riqueza, abundancia y dinámica poblacional de familias y géneros de Arañas

Durante el ciclo del cultivo se registró el orden Araneae, 7 familias y 17 géneros. La familia más abundante fue Thomisidae y el género más abundante *Misumena*. Además, se identificaron los géneros y especies *Acacesia*, *Araneus*, *Eriophora fuliginea*, *Eriophora*, *Metepeira*, *Wagneriana*, *Mimetus*, *Oxyopes*, *Peucetia viridans*, *Messua*, *Colonus sylvanus*, *Paraphidippus aurantius*, *Olios*, *Mecaphesa*, *Misumenops* y *Misumenoides* en diferentes fases fenológicas del cultivo de ajonjolí (Cuadro 18).

Índices de diversidad de insectos según fase fenológica del cultivo de ajonjolí

El índice de dominancia de Simpson (1-D) registra un valor de 0.84 a los 15 días después de germinación, lo que indica que existe más dominancia de una o más familias sobre las demás, donde se registró mayor abundancia de las familias Cicadellidae, Cixiidae y Miridae; también se destacan los géneros *Carneocephala* sp., *Oecleus* sp. y *Cyrtopeltis* sp. Mientras que a los 90 días después de germinación indica que la probabilidad de tomar dos individuos al azar, y que estos sean de diferente familia es alta. El índice de Shannon (H') indica que a los 45 - 90 días después de germinación, la comunidad de familias y géneros es más equitativa, es decir hay más uniformidad. El índice de Margalef indica que a partir

de los 45 hasta los 90 días después de germinación los valores están arriba de 5.00, por lo tanto, existe una riqueza de familias y géneros alta (Cuadro 19).

Análisis de Regresión Lineal

El análisis de la varianza (ANOVA), indica que existe relación significativa entre las variables ($0.00 < 0.05$), lo cual demuestra que es posible construir un modelo de regresión lineal, con la ecuación $y = a + bx$. La constante es 86.80 y el coeficiente para los días después de la germinación es 4.70, donde la predicción del número de insectos y arañas que se pueden encontrar a diferentes días después de la germinación está en función de esa fórmula, además estos valores indican el cambio medio que corresponde a la variable dependiente (abundancia de insectos y arañas) por cada unidad de cambio de la variable independiente (días después de germinación).

Curva de acumulación de especies

La curva de acumulación de especies (Figura 2), evalúa la efectividad del esfuerzo de muestreo realizado. En este estudio el valor de Chao1 (Moreno 2001) fue de 68.46% y el de ACE (Pla 2006) 72.81% de efectividad. Estos resultados indican la necesidad de realizar un esfuerzo mayor en los muestreos para estimar en forma más completa la riqueza de insectos en el área de estudio.

Cuadro 18. Riqueza, abundancia y dinámica poblacional de familias y géneros de arañas, recolectados durante las fases fenológicas del cultivo de ajonjolí.

Familia	Género	Abundancia de arañas durante las fases fenológicas del cultivo de ajonjolí.						Total	%
		Crecimiento vegetativo			Inicio de floración	Flor.	Fruct.		
		15 ddg	30 ddg	45 ddg	60 ddg	75 ddg	90 ddg		
Araneidae	<i>Acacesia</i> sp.	0	0	1	0	1	0	2	1.22%
	<i>Araneus</i> sp.	0	0	2	0	0	3	5	3.06%
	<i>Eriophora fuliginea</i>	0	0	0	0	0	1	1	0.61%
	<i>Eriophora</i> sp.	0	0	0	0	0	1	1	0.61%
	<i>Metepeira</i> sp.	0	0	1	0	0	0	1	0.61%
	<i>Wagneriana</i> sp.	0	0	0	0	0	1	1	0.61%
Clubionidae	No identificado	0	0	0	0	0	1	1	0.61%
Mimetidae	<i>Mimetus</i> sp.	0	1	0	0	1	0	2	1.22%
Oxyopidae	<i>Oxyopes</i> sp.	0	2	1	2	0	5	10	6.13%
	<i>Peucetia viridans</i>	0	0	3	4	1	7	15	9.20%
	<i>Messua</i> sp.	0	1	0	0	0	0	1	0.61%
Salticidae	<i>Colonus sylvanus</i>	0	2	0	0	0	0	2	1.22%
	<i>Paraphidippus aurantius</i>	0	0	0	0	0	1	1	0.61%
Sparassidae	<i>Olios</i> sp.	0	1	0	0	0	0	1	0.61%
	<i>Mecaphesa</i> sp.	0	0	0	0	3	0	3	1.84%
Thomisidae	<i>Misumenops</i> sp.	0	1	1	1	3	0	6	3.68%
	<i>Misumenoides</i> sp.	0	1	2	2	19	5	29	17.79%
	<i>Misumena</i> sp.	0	0	4	19	14	29	66	40.49%
Juvenil	Juvenil	5	3	0	2	0	5	15	9.20%
Total		5	12	15	30	42	59	163	100.00%

ddg: días después de germinación de la semilla de ajonjolí.

Cuadro 19. Índices de diversidad de insectos según fase fenológica del cultivo de ajonjolí.

	Crecimiento vegetativo			Inicio de floración	Floración	Fructificación
	15 ddg	30 ddg	45 ddg	60 ddg	75 ddg	90 ddg
Taxa (S): Familias	17	23	41	45	44	48
Tasa (S): Géneros	12	16	29	37	45	49
Dominancia (D)	0.16	0.14	0.07	0.08	0.07	0.04
Simpson (1-D)	0.84	0.86	0.92	0.92	0.93	0.96
Shannon (H)	2.18	2.37	3.06	3.04	3.08	3.39
Margalef (Dmg)	3.27	4.35	7.25	7.66	7.15	7.95

Taxa (S) = número de familias y géneros según fase fenológica del cultivo de ajonjolí.

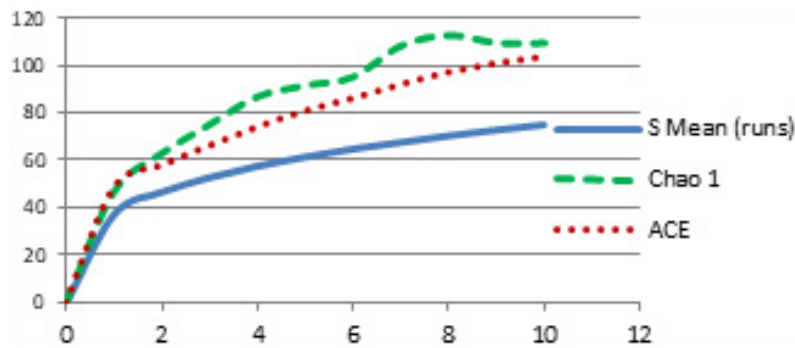


Figura 2. Curva de acumulación de especies en el cultivo de ajonjolí, en el periodo de abril a julio de 2019.

CONCLUSIONES

La mayor riqueza de insectos, equidad y menor dominancia se obtuvo en la fase fenológica de fructificación del cultivo de ajonjolí.

El incremento en las poblaciones de insectos depredadores, parasitoides y arañas está relacionado directamente al incremento de las poblaciones de insectos fitófagos, influenciado a su vez por las fases fenológicas del cultivo de ajonjolí.

Los insectos fitófagos son el grupo dominante en el cultivo de ajonjolí, seguido de los insectos polinizadores, insectos depredadores, arañas y parasitoides.

BIBLIOGRAFÍA

Briseño K. 2019. Índice de Simpson: Fórmula, Interpretación y Ejemplo (En línea). Disponible en: <https://www.lifeder.com/indice-simpson/>

EAP (Escuela Agrícola Panamericana "ZAMORANO" 2001. Manual de manejo, el cultivo de ajonjolí (En línea). HN. Consultado 13 de noviembre de 2019. Disponible en: https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/2550/1/210904_0325%20ajonjoli.pdf

Gonzales M. L.; Jahnke S. M.; Morais R. M.; Da Silva G. S. 2014. Diversidad de insectos depredadores en área orizícola orgánica y de conservación, en Viamão, RS, Brasil. 120 Revista Colombiana de Entomología. CO. Consultado: 29 de enero de 2020. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/rcen/v40n1/v40n1a20.pdf>

Guzmán Mendoza R.; Calzontzi Marín J.; Salas Araiza M.D.; Martínez Yáñez R. 2016. La riqueza biológica de los insectos: análisis de su importancia multidimensional (En línea). Acta Zoológica Mexicana No. 32. Pág. 370-379. Consultado: 25 de mayo de 2020. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/azm/v32n3/0065-1737-azm-32-0300370.pdf>

Leyva F.; Padilla J. 1998. Manual de manejo integrado de plagas de ajonjolí (En línea). ZAMORANO, INTA, MAG, MIP- CATIE, UNAN- León (Nicaragua), Proyecto PIKIN. Pág 51. NI. Consultado: 16 de septiembre de 2018. Disponible en: <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/4095/1/01.pdf>

Maes J.M.; Robleto J.T. 1988. Catálogo de los insectos y artrópodos terrestres asociados a las principales plantas de importancia económica en Nicaragua. León, Nicaragua. Pág 40-41.

MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería) 2018. Anuario de Estadísticas Agropecuarias: El Salvador 2017 - 2018. SV. Consultado: 04 de enero de 2020. Disponible en: <http://www.mag.gob.sv/direccion-general-de-economiaagropecuaria/estadisticas-agropecuarias/anuarios-de-estadisticas-agropecuarias/>

Magurran, A. E. 1988. Ecological diversity and its measurement. Princeton University Press, New Jersey, 179 p.

Martínez Pérez F.D. 2006. Arañas del campus (En línea). ES. Consultado 22 de octubre de 2019. Disponible en: <https://www.uah.es/export/sites/uah/es/conoce-lauah/galleries/Galeria-de-descarga-de-Conoce-la-UAH/Ecocampus/>

- aranias.pdf
- Montilla D.; Cedeño T. 1998. Efecto de la polinización por abejas (*Apis mellifera* L) sobre el rendimiento de cultivares indehiscentes de ajonjolí (*Sesamum indicum* L). (En línea). VE. Consultado 03 de enero de 2020. Disponible en: [http://www.ucla.edu.ve/bioagro/Rev3\(4\)/3.%20Efecto%20de%20la%20polinizaci%C3%B3n.pdf](http://www.ucla.edu.ve/bioagro/Rev3(4)/3.%20Efecto%20de%20la%20polinizaci%C3%B3n.pdf)
- Montoya Castillo W. 2010. Apuntes de Entomología General. Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo. Huaraz, Perú. 94 págs.
- Mora Donjuán, C.A.; Burbano Vargas, O.N.; Méndez Osorio, C.; Castro Rojas, D.F. 2017. Evaluación de la biodiversidad y caracterización estructural de un bosque de encino (*Quercus* L.) en la Sierra Madre de Sur, México (En línea). MX. Consultado: 15 de marzo de 2019. Disponible en: revistas.tec.ac.cr/index.php/kuru/article/download/3154/2941/
- Moreno, C. E. 2001. Métodos para medir la biodiversidad. (SEA) Sociedad Entomológica Aragonesa, vol.1. Zaragoza, 86 p.
- Oliveira Cruz D.; Magalhaes Freitas B. 2013. Diversidade de abelhas visitantes florais e potenciais polinizadores de culturas oleaginosas no Nordeste do Brasil (En línea). BR. Consultado 10 de noviembre de 2019. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/259432822_Diversidade_de_abelhas_visitantes_florais_e_potenciais_polinizadores_de_culturas_oleaginosas_no_Nordeste_do_Brasil/link/00b4952b8407ecc47b000000/download
- Pla L. 2006. Biodiversidad: inferencia basada en el índice de shannon y la riqueza (En línea). Vol. 31 No. 8. VE. Pág. 583-590. Consultado: 20 de febrero de 2020. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/339/33911906.pdf>
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 2016. Ficha Técnica. Langosta Centroamericana *Schistocerca piceifrons piceifrons* (Walker, 1870). (Orthoptera: Acrididae). MX. Consultado 02 de febrero de 2020. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/157817/Ficha_tcnica_langosta.pdf
- Salazar Anton W. 1999. Diagnóstico de plagas y enemigos naturales en el cultivo de ajonjolí (*Sesamum indicum* L) en cuatro comunidades de Departamento de León, Nicaragua (En línea). León, Nicaragua. Consultado 29 noviembre de 2019. Disponible en: <http://repositorio.una.edu.ni/1713/1/trnh10s161.pdf>



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

Artículo de investigación

Estudio de la dinámica poblacional del psílido asiático de los cítricos (*Diaphorina citri*: Hemiptera: Psyllidae) en el cultivo de Limón Pérsico (*Citrus latifolia* Tanaka) en tres fincas comerciales del municipio de San Juan Opico, La Libertad, El Salvador

Population dynamics of the Asian citrus psyllid (*Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Psyllidae) in three commercial orchards of Persian Lime (*Citrus latifolia* Tanaka) in San Juan Opico, La Libertad, El Salvador

Alvarenga-Navarrete, L.A.¹, Campos-Cabrera, L.J.¹, González-Guadrón, J.T.¹,
Menjívar-Rosa, R.A.², Cuadra-Campos, E.J.³

Correspondencia:
alonsoalvarenga0120@gmail.com
ljoelcamposc@hotmail.com
jen_094@hotmail.com

Presentado:
17 de octubre de 2020
Aceptado:
13 de noviembre de 2020

- 1 Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias Agronómicas, Departamento de Protección Vegetal. Estudiante tesista.
- 2 Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias Agronómicas, Departamento de Protección Vegetal. Docente asesor.
- 3 Ministerio de Agricultura y Ganadería, El Salvador. Técnico de vigilancia fitosanitaria.

RESUMEN

Esta investigación se ejecutó en tres fincas comerciales de Limón Pérsico (*Citrus latifolia* Tanaka) manejadas de forma convencional, las cuales están ubicadas en los cantones Minas de Plomo, El Llano y Joya de Cerén, en el municipio de San Juan Opico del departamento de La Libertad, El Salvador. El objetivo de la investigación fue determinar la densidad poblacional de *Diaphorina citri* (en su estado de huevo, ninfa, adulto) y su relación con factores bióticos (fenológicos de la planta: brotación, floración, fructificación) y la interacción de los factores abióticos (temperatura, humedad relativa y precipitación). Se desarrollaron cinco muestreos por finca para contabilizar las poblaciones de *Diaphorina citri*, el intervalo entre visita fue de 21 días, comprendida entre los meses de agosto y noviembre de 2019. La metodología de campo implementada fue la técnica de muestreo de "T" simple, para plantaciones inferiores a 7 manzanas (5 hectáreas) y "T" doble para plantaciones superiores a las 7 manzanas (5 hectáreas) de cultivo. Se tomó como unidad de muestreo brotes tiernos de 5 cm/planta, tomando como referencia los cuatro puntos cardinales. La metodología de muestreo fue de tipo exploratoria y la técnica estadística utilizada fue el Análisis de Componentes Principales. Para el análisis de las variables se utilizó el programa estadístico InfoStat®. Los resultados obtenidos demostraron que las mayores densidades poblacionales con respecto a las tres fases del insecto se registraron en los meses de agosto y octubre, coincidiendo con la brotación generalizada en los árboles. El Análisis de Componentes Principales, demostró que existe alta relación entre las temperaturas y la precipitación registrada con respecto a las densidades poblacionales, lo que explica el 90.7% de la variación total de las variables estudiadas.

Palabras clave: *Diaphorina citri*, Limón Pérsico, Densidad poblacional.

ABSTRACT

The research was conducted in three commercial farms of Persian lime (*Citrus latifolia* Tanaka) managed in a conventional way, located in counties of Minas de Plomo, El Llano and Joya de Cerén, in the municipality of San Juan Opico, department of La Libertad. The objective of the research was to determine the population density of *Diaphorina citri* (in its egg, nymph, adult state) and its relationship with biotic factors (phenological factors of the plant: sprouting, flowering, fruiting) and the interaction with abiotic factors (temperature, relative humidity and precipitation). Five samplings per farm were carried out to quantify the *Diaphorina citri* populations. The interval between visits was 21 days, during the months of August and November 2019. The field methodology was simple "T" sampling technique, for plantations of less than 7 blocks (5 hectares) and double "T" for plantations of more than 7 blocks (5 hectares) of cultivation. Tender shoots of 5 cm / plant were taken as the sampling unit, taking as reference the four cardinal points. The sampling methodology was exploratory, and the statistical technique used was Principal Component Analysis. These analyses were performed using the statistical software InfoStat®. The results showed that the highest population densities, with respect to the three phases of the insect, occurred in the months of August and October, coinciding with the sprouting in the trees. Statistical analysis showed, with respect to population densities, that there was a high correlation between temperatures and recorded precipitation, which explained 90.7% of the total variation of the variables studied.

Key Words: *Diaphorina citri*, Persian Lime, population density

INTRODUCCIÓN.

El cultivo de Limón Pérsico (*Citrus latifolia* Tanaka) constituye una actividad socioeconómica importante para El Salvador. La superficie destinada al cultivo a nivel nacional es de 1,728 mz/año (1,209.6 ha/año) con una producción promedio de 372,846 qq/año (16,949,579.16 kg/año), un rendimiento promedio de 217.57 qq/mz (14,129.62 kg/ha) y un precio promedio de US\$ 5.11/Ciento, (DGEA 2017). El consumo aparente de Limón Pérsico como fruta fresca para el año 2018 fue de 1,508,167.51 kg. El destino de la producción nacional son países como: Canadá, Estados Unidos, Guatemala, Nicaragua, Costa Rica, Panamá, Ecuador, Venezuela, Alemania y España, según los datos reportados por la Dirección General de Economía Agropecuaria para el último quinquenio (2014 - 2018).

Diaphorina citri Kuwayama, comúnmente conocido como "chicharrita de los cítricos" o "psílido asiático de los cítricos", presenta tres estados de desarrollo: huevo, ninfa y adulto. Los huevecillos miden aproximadamente 0.30 mm de longitud y 0.14 mm y son de color amarillo-anaranjado claro brillante. Las ninfas son de un color amarillo claro y con un par de ojos rojos, el tamaño promedio es de 0.10 mm a 1.6 mm. El adulto mide de 2 a 3 mm de longitud. Se diferencia de otras especies reportadas para el género *Citrus* por el patrón de coloración del ala, la

que presenta manchas pardas oscuras en el borde y el centro claro y por la posición que adopta el cuerpo en reposo formando un ángulo de 45° (Augier *et al.* 2006). Es considerado el vector de la bacteria *Candidatus Liberibacter asiaticus* y *americanus* en el continente americano, el psílido puede transmitir el patógeno con una eficiencia de sólo el 1%, asignándose este rol a las ninfas de cuarto y quinto instar y a los adultos, estos adquieren la bacteria patógena después de haberse alimentado de una planta enferma durante 30 minutos o más y una vez adquirida, el insecto la transmitirá durante todo su ciclo biológico (Xu *et al.*, citado por Kondo 2017).

El Huanglongbing de los cítricos es causado por la bacteria *Candidatus Liberibacter spp.*, que se aloja en los tubos cribosos del floema de las plantas. Actualmente, es considerada como la enfermedad más destructiva para los cítricos en el mundo, debido a la severidad de los efectos sobre la productividad, la rapidez con la que se dispersa y porque afecta a todas las especies de cítricos (SENASICA 2019).

Actualmente, se conoce de algunos estudios acerca de muestreo de *Diaphorina citri* en plantaciones comerciales y viveros en el municipio de San Juan Opico; en los que, Reyes y Cruz (2007) realizaron estudios para determinar la infestación o daño de *Diaphorina citri* en plantaciones de cítricos; algunos

hallazgos encontrados fueron que el 4% de los registros totales mostró alta infestación en el cultivo de Limón Pésico.

El Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria, El Salvador (CENTA) del año 2015 al 2017, realizó un estudio de la Dinámica Poblacional de *Diaphorina citri* en el cultivo de Limón, para ello se escogió una parcela en el municipio de San Juan Opico de 5 seleccionadas nivel nacional. Según los resultados obtenidos, la época lluviosa fue la que registró mayor presencia de *Diaphorina citri*, siendo los meses de julio, agosto y septiembre con mayor cantidad de ninfas, seguido de huevos y adultos en brotes; sin embargo, *Diaphorina citri*, estuvo presente durante toda la fase de la investigación (Mejía 2017).

La investigación consideró estos aspectos y determinó la dinámica poblacional de *Diaphorina citri* para tres fincas de Limón pésico, en tres cantones diferentes del municipio de San Juan Opico a fin de estudiar el comportamiento de *Diaphorina citri* mediante el conteo de especímenes en cada una de sus fases (huevo, ninfa y adulto). Además, se registraron datos de Temperatura °C, Humedad Relativa % y Precipitación (mm) y las fases fenológicas de la planta. Posteriormente, los datos fueron registrados en una base de datos con la finalidad de determinar y analizar estadísticamente los resultados obtenidos en campo. Dentro de esta investigación se determinó mediante el Análisis de Componentes Principales la correlación de las variables en un 90.7%.

La investigación de la dinámica poblacional de *Diaphorina citri* es de gran importancia económica para El Salvador, ya que dentro de este municipio se concentra la mayor superficie citrícola del país.

MATERIALES Y MÉTODOS.

Para realizar el estudio, los investigadores seleccionaron tres fincas comerciales de Limón Pésico (*Citrus latifolia* Tanaka) con manejo convencional, una de ellas llamada “Finca La Bendición”, ubicada en el cantón Minas de Plomo con coordenadas geográficas 13° 52' 9.11" N, - 89° 22' 8.826"

W, 433 msnm; la otra “Finca San Carlos”, ubicada en el cantón El Llano con coordenadas 13° 48' 45.8" , - 89° 22' 58.057" W, 460 msnm y la última conocida como “Los Venados”, ubicada en el Cantón Joya de Cerén con coordenadas 13° 48' 45.8" , - 89° 22' 58.057" W, 460 msnm, todas establecidas dentro del municipio de San Juan Opico, La Libertad. Se realizaron cinco visitas a cada una de ellas entre agosto y noviembre del año 2019, los meses se seleccionaron basados en la presencia del vector y la brotación del cultivo. Además, se registraron variables bióticas y abióticas. Para la detección y recuento de *D. citri* fue necesario el uso de lupas entomológicas con aumento de 20x (veinte veces su tamaño real).

De acuerdo a los datos del Servicio Nacional de Estudios Territoriales (SNET), citado por Mejía (2017), el municipio de San Juan Opico en el departamento de la Libertad, registra las siguientes variables abióticas: temperatura media anual de 24.7°C, una humedad relativa promedio de 76% y una precipitación acumulada anual de 1500 mm.

Los datos registrados fueron: fecha, lugar, coordenadas geográficas, fase fenológica del árbol. Para el desarrollo de las actividades de campo, fue necesario adoptar la técnica de muestreo planteada por Robles (2017), en la cual se realizaba “T” simple para superficies inferiores a 7 mz como en la “Finca Los Venados” y la “Finca La Bendición”, y el muestreo “T” doble para la “Finca San Carlos”, cuya superficie era mayor a las 7 mz. Los muestreos eran desarrollados a partir de los primeros surcos en los bordes de la plantación; los cuales eran rotativos en cada una de las visitas, si el muestreo era “T” simple se seleccionaban 24 árboles, de cada árbol se tomaban 4 brotes de 5 cm/árbol tomando como referencia los cuatro puntos cardinales (Norte, Sur, Este y Oeste), haciendo un total de 96 brotes al finalizar el muestreo. En el caso de los muestreos de “T” doble, se seleccionaban 48 árboles, haciendo un total de 192 brotes al finalizar el muestreo (Figura 1).

Finalizado el muestreo de campo en áreas comerciales, se procedió a la recolecta e identificación y envío de algunas muestras altamente infestadas que impedían

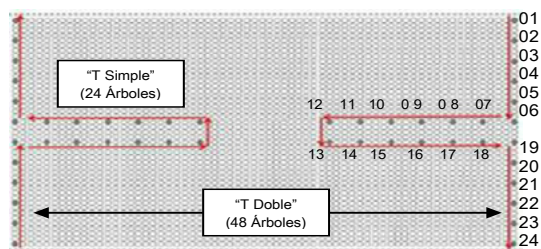


Figura 1. Esquema de muestreo sistemático en método "T" simple.

Fuente: Adaptado de Robles 2017.

el conteo en campo de *Diaphorina citri* (huevo, ninfa y adulto) en el Laboratorio de Diagnóstico Vegetal del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) para ello se realizaron los siguientes pasos:

Las muestras se recolectaron en frascos plásticos de 30 ml o viales con alcohol al 70%, se enviaron al laboratorio con la siguiente información: fecha, departamento, municipio, cantón, hospedero y variedad, código de muestra. Los insectos fueron identificados por clave taxonómica morfológica de Martínez Carrillo 2010.

Luego se procedió al conteo de la muestra, separando según el estadio presente: huevos, ninfas y adultos, haciendo uso del equipo estereoscopio.

La investigación desarrollada fue de tipo exploratoria ya que es el modelo estadístico más adecuado para representar este fenómeno. El muestreo es no probabilístico ya que el muestreo seleccionado estuvo en función de su accesibilidad o a criterio personal e intencional de los investigadores¹. Se midió el efecto de los factores abióticos o físicos (Temperatura, Humedad Relativa y Precipitación) con respecto a la abundancia de *Diaphorina citri* en cada una de las tres fincas comerciales. Estos datos fueron analizados utilizando el método de análisis multivariado; dentro de este, se utilizó la técnica de componentes principales para determinar que variable o variables están presentando las mayores variaciones dentro del estudio².

1 Bermúdez, M. 2019. Selección del tipo de investigación y tipo de muestreo para la presente investigación (entrevista). San Salvador, El Salvador.

2 Segovia, J. 2019. Selección del tipo de investigación y

Los resultados obtenidos en campo fueron analizados mediante gráficas de barras apoyados por el programa Microsoft Excel® 2019, mientras que las variables establecidas en la investigación fueron procesadas a través del programa estadístico InfoStat® versión estudiantil con la finalidad de facilitar el proceso estadístico.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Resultados de la investigación

De acuerdo con los resultados obtenidos el mes de agosto reflejó los siguientes registros de campo de especímenes de *Diaphorina citri*: Finca San Carlos con 890 huevos, 646 ninfas y 55 adultos; Finca Los Venados con 369 huevos, 665 ninfas y 69 adultos; y Finca La Bendición con 197 huevos, 184 ninfas y 23 adultos.

El mes de septiembre reflejó Finca San Carlos 332 huevos, 205 ninfas y 34 adultos; Finca Los Venados con 316 huevos, 205 ninfas y 32 adultos; y Finca La Bendición con 15 huevos, 57 ninfas y 9 adultos.

En el mes de octubre se obtuvo en la Finca San Carlos 1290 huevos, 458 ninfas y 119 adultos; Finca Los Venados con 354 huevos, 481 ninfas y 23 adultos; Finca La Bendición con 143 huevos, 110 ninfas y 18 adultos.

El mes de noviembre arrojó para la Finca San Carlos 381 huevos, 117 ninfas y 16 adultos; Finca Los Venados con 277 huevos, 251 ninfas y 84 adultos; Finca La Bendición con 63 huevos, 68 ninfas y 9 adultos (Figura 2,3 y 4).

Respecto a los factores abióticos obtenidos durante el desarrollo de la investigación se registraron las siguientes variables climáticas para las tres fincas en el mes de agosto con 81.4% HR, 26.5 °C, 395 mm. En el mes de septiembre los registros fueron de 83.2% HR, 26.1°C y 296.2 mm. Para el mes de octubre los registros fueron de 84.5% HR, 25.6°C y 443.2 mm. En el mes de noviembre los registros fueron de 77.7% HR, 25.7°C y 6.6 mm.

tipo de muestreo para la presente investigación (entrevista). San Salvador, El Salvador.

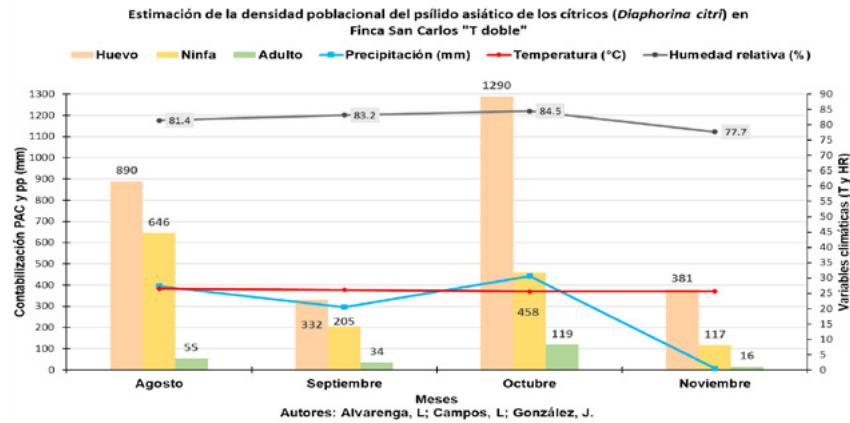


Figura 2. Población total de *Diaphorina citri* y condiciones climáticas registradas en la Finca San Carlos, con un muestreo "T doble".

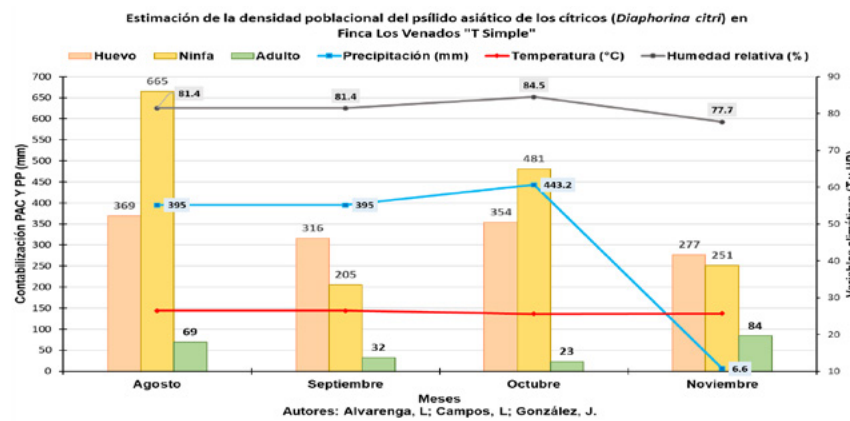


Figura 3. Población total de *Diaphorina citri* y condiciones climáticas registradas en la Finca Los Venados, con un muestreo "T simple".

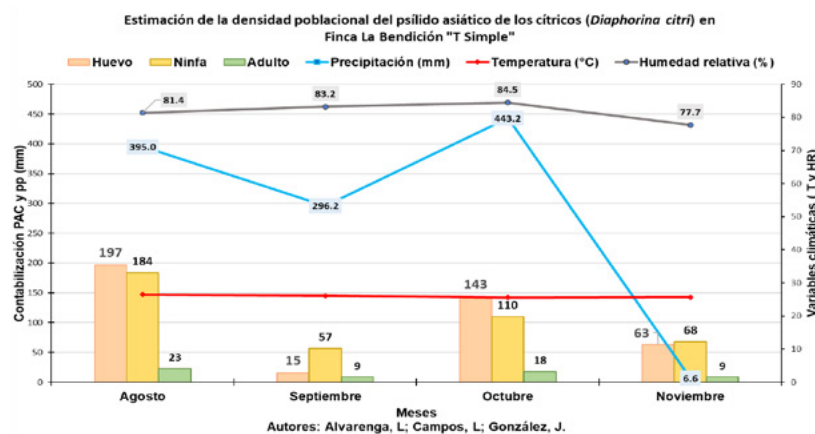


Figura 4. Población total de *Diaphorina citri* y condiciones climáticas registradas en la Finca La Bendición, con un muestreo "T simple".

Discusión de resultados

Con respecto a las fincas “San Carlos”, “Los Venados” y “La Bendición” se detectó un comportamiento similar en el aumento de poblaciones para los meses de agosto y octubre, debido a que en estos meses se presentaron niveles altos de lluvia en la zona (443.2 mm en el mes de octubre y 395 mm en el mes de agosto), esto genera brotes tiernos en los árboles (la fase fenológica presente en las tres fincas fue de brotación-fructificación), que son esenciales para el desarrollo de los estados inmaduros, razón por la que, las hembras sólo ovipositan en ellos; coincidiendo con los estudios realizados por Hall y Abrigo (2007); Tsai y Liu (2000); Fernández y Miranda (2005).

Para el mes de septiembre presentaron menores densidades poblacionales posiblemente debido a las precipitaciones intensas, pero no continuas en la zona (296.2 mm), lo que provocaría el lavado de estadios inmaduros; mientras que para el mes de noviembre es probable que las bajas densidades poblacionales fueron por la ausencia de brotes vegetativos, la cual no era ideal para el desarrollo de inmaduros y la oviposición de huevos, concordando con lo señalado por Aubert (1987).

Según el estudio realizado en áreas traspatio en zonas fronterizas por Cuadra (2018)³, las mayores poblaciones de adultos se presentaron entre los meses de mayo a julio, mientras que a partir de agosto a octubre se presenta una constante disminución poblacional del vector; lo que significa que posiblemente las poblaciones incrementan en traspatio y luego se mueven a plantaciones comerciales, donde en nuestro estudio las poblaciones de adultos se incrementan en el mes de agosto y octubre; por el contrario los datos obtenidos en la finca coinciden con los de Mejía (2017), donde menciona que el aumento poblacional de *Diaphorina citri* se presentó en los meses de julio y agosto, esto concuerda con lo obtenido en cada una de las tres fincas.

Otro factor que intervino en el aumento de las

poblaciones de *D. citri* (en sus diferentes estadios) fue la temperatura con un rango de 25.6 a 26.5°C, que son las condiciones ideales para la presencia de adultos y la ovipostura como de la emergencia de nuevas ninfas, coincidiendo por lo señalado por Liu y Tsai (2000). Si bien se presentó una Humedad Relativa con rangos de saturación de 77.7% a 84.5%, las poblaciones de *Diaphorina citri* fueron altas lo que concuerda con McFarland y Hoy (2001) acerca de la sobrevivencia de esta especie a humedades relativas altas.

Con respecto a enemigos naturales de *Diaphorina citri*, no se encontró ningún espécimen dentro del estudio de agosto a noviembre. El uso de insecticidas en las Fincas “San Carlos” y “La Bendición”, podría explicar la nula presencia de enemigos naturales (depredadores o parasitoides), asociado al hecho de la escasa presencia de plantas con flores como fuente natural de alimento, puesto que se registró, previo al inicio de esta investigación, la presencia del parasitoida *Tamarixia radiata* dentro de la Finca “San Carlos”, pero no se logró obtener otro espécimen una vez establecido el estudio.

Otro tipo de manejo agronómico reportado dentro de la Finca San Carlos, fue la realización de una poda fitosanitaria en el mes de octubre, lo que pudo influir en el aumento de las poblaciones de *D. citri*, debido a la producción de brotes vegetativos.

Análisis de Componentes Principales (ACP)

Como se demuestra en la Figura 5, el ACP representa el 90.7% del objetivo de esta investigación, ya que el Componente Principal Uno (CP1), representa el 45.2% de la variación respecto a la presencia y densidad de *Diaphorina citri* en la finca San Carlos, Los Venados y La Bendición. Mientras que el Componente Principal Dos (CP2), representa el 27.6% de la interacción de la variable abiótica (“BT” para brotes tiernos y “BM” para brotes maduros), Temperatura (°C), Humedad Relativa (%) y Precipitación (mm) sobre la densidad poblacional de *Diaphorina citri*, para los meses de agosto y octubre en la Finca Los Venados y San Carlos; mientras que en la “Finca La Bendición”, los

³ Cuadra, E. 2019. Fluctuación poblacional de *Diaphorina citri* en El Salvador (entrevista). San Salvador, El Salvador, MAG.

Componentes CP1 y CP2 no ejercen influencia sobre la densidad del vector en el mes de septiembre en la finca “La Bendición”; y el mes de noviembre en la finca “San Carlos” y “La Bendición”, donde la fase fenológica predominante fue brotación madura (BM) y los estadios de *D. citri*, sufrieron una variación en cuanto a la presencia del insecto de mayor a menor en el orden de ninfas, huevos y adultos (Figura 2 y 4); el CP2 también demuestra que el mes de noviembre en finca Los Venados hubo una disminución de las siguientes variables abióticas (Precipitación y Humedad Relativa), las que incidieron en el aumento de las poblaciones de la fase adulta de *Diaphorina citri*.

Otro hallazgo importante de mencionar dentro de esta investigación, es que la interacción entre CP1 y CP2, en el mes de agosto, reflejó un incremento en la fase fenológica de la planta (brotación) producto del incremento de las precipitaciones que influenciaron directamente los estadios de *Diaphorina citri* (ninfa, huevo, adulto), como también la temperatura fue un factor que incidió en la finca San Carlos y Los Venados, ocasionando un aumento de la densidad poblacional

de *Diaphorina citri* a una temperatura promedio de 26.5°C, donde según Liu y Tsai (2000), el rango óptimo de temperatura para el desarrollo de *Diaphorina citri* es entre 25 y 28 °C y que temperaturas mayores que 33°C, ocasionan un descenso poblacional del insecto. Otro aspecto a tomar en cuenta dentro de la obtención de los resultados fue el manejo agronómico del cultivo en lo que refiere a la aplicación de pesticidas para el control de plagas en el cultivo, un factor que pudo influir directamente en la densidad poblacional del vector (Finca San Carlos y Finca La Bendición) y por ende en los registros de campo de esta investigación, lo cual concuerda con trabajos realizados por Martínez Carrillo (2010). Referente a los resultados obtenidos en las fases fenológicas del cultivo (*Citrus latifolia* Tanaka) los meses de septiembre y noviembre se caracterizaron por presentar mayormente brotaciones maduras (BM) de hojas en la copa de los árboles, lo que concuerda con el ACP y demuestra efectos directos en las densidades poblacionales de *Diaphorina citri*, tal como manifiestan Tsai y Liu (2000), donde mencionan que las hembras solo ovipositan en ramas tiernas y en ausencia de estas, cesan la oviposición temporalmente.

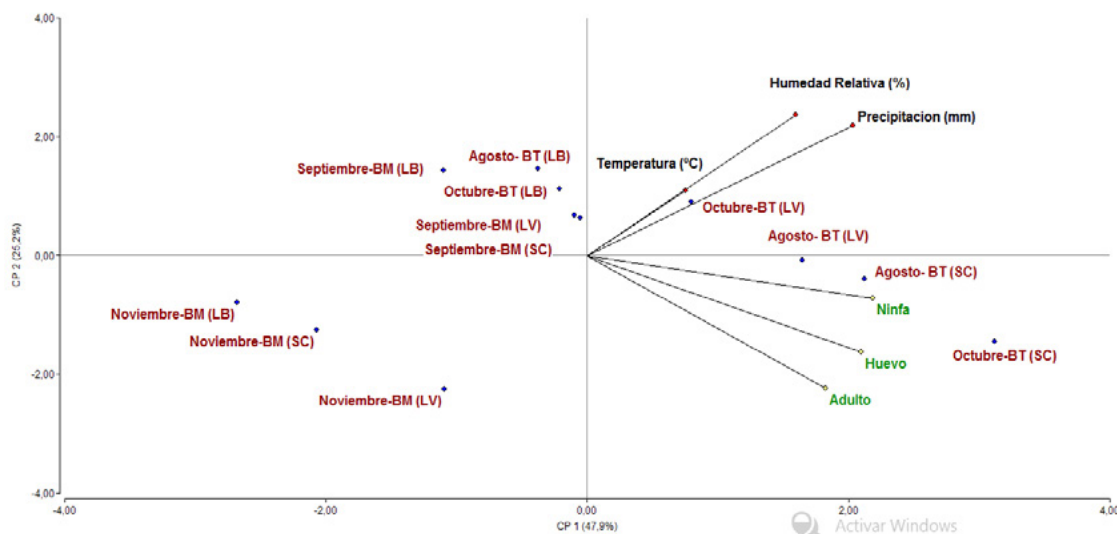


Figura 5. Análisis de Componentes principales para *Diaphorina citri* para las tres fincas estudiadas en San Juan Opico.

- Nota:** 1. BT= Brotes tiernos y BM= Brotes maduros
 2. SC= San Carlos; LV= Los Venados y LB= La Bendición.
 3. El análisis de componentes explica el 90.7% de la variación total.
 4. El componente principal uno (CP1) explica el 45.2% de la variación.
 5. El componente dos (CP2) explica el 27.6%

CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos, así como a los objetivos e hipótesis planteadas y bajo las condiciones de campo en que se desarrolló la investigación se concluye:

Que *Diaphorina citri* estuvo presente en las tres fincas comerciales durante toda la fase de investigación de agosto a noviembre y de acuerdo al estadio del vector se presentó de mayor a menor en el orden siguiente: huevo con 386 (densidad de 12/Árbol), ninfa con 287 (9/Árbol) y adulto con 41 (1/Árbol).

Las densidades poblacionales promedio más altas de *Diaphorina citri* para las tres fincas resultaron en el mes de octubre, en sus fases huevo con una densidad de 19 huevos/Árbol (población total 596 huevos), ninfa con 11 ninfas/Árbol (población total de 350 ninfas) y adulto 2/Árbol (población total de 53 adultos), seguido del mes de agosto con 15 huevos/Árbol (485 huevos), 16 ninfas/Árbol (498 ninfas) y 2 adultos/Árbol (49 adultos), producto por la presencia de brotación.

Las densidades poblacionales promedio más bajas de *Diaphorina citri* para las tres fincas resultaron en el mes de septiembre, en sus fases huevo con una densidad de 7 huevos/Árbol (221 adultos), ninfa con 5 ninfas/árbol (156 ninfas) y adulto con 1 adulto/Árbol (25 adultos), seguido del mes de noviembre con 8 huevos/Árbol (240 huevos), 5 ninfas/Árbol (145 ninfas) y 1 adulto/Árbol (36 adultos), influenciado por la carencia de brotación.

La densidad poblacional de los estadios de *D. citri* en la Finca San Carlos, Cantón el Llano en los meses de agosto a noviembre, fue de 15 huevos/Árbol, 7 ninfas/Árbol y 1 adulto/Árbol, se categoriza como nivel de infestación medio, según Martínez (2010).

La densidad poblacional de los estadios de *D. citri* en la Finca Los Venados, Cantón Joya de Cerén en los meses de agosto a noviembre, reflejó 14 huevos/árbol, 17 ninfas/árbol y 2 adulto/árbol, se categoriza como nivel de infestación medio según Martínez (2010).

La densidad poblacional de los estadios de *D. citri* en la Finca La Bendición, Cantón Minas de Plomo en los meses de agosto a noviembre, reportó 4 huevos/Árbol, 4 ninfas/Árbol y 1 adulto/Árbol, se categoriza como nivel de infestación bajo según Martínez (2010).

La Temperatura y la Humedad Relativa están directamente relacionadas con los estadios ninfas, huevos y adultos y la precipitación de forma más favorable, donde estas variables climáticas actuaron con mayor variación en los meses de agosto y octubre en Finca "San Carlos" y Finca "Los Venados" cuando las plantaciones se encontraban en la fase fenológica de brotación.

La Temperatura, Humedad Relativa y Precipitación presentaron una menor correlación con los estadios ninfas, huevos y adultos en los meses de septiembre en las Fincas "San Carlos", "Los Venados" y "La Bendición" y los meses de agosto y octubre en la Finca "La Bendición" cuando en la plantación se encontraba en la fase fenológica de brotación madura.

La Temperatura, Humedad Relativa y Precipitación no están directamente relacionadas con los estadios ninfas y huevos en el mes de noviembre en la Finca "San Carlos", "Los Venados" y "La Bendición", pero sí en el estadio adulto principalmente en la Finca "Los Venados" en donde en noviembre se presentó disminuciones de precipitación y humedad relativa influyendo en el aumento de adultos cuando la plantación se encuentra en la fase fenológica de brotación madura.

BIBLIOGRAFÍA

- Aubert, B. 1987. *Trioza erytrae* Del Guercio and *Diaphorina citri* (Homoptera: Psylloidea), the two vectors of citrus greening disease: Biological aspects and possible control strategies (en línea). *Fruits* 42 (3): 149-162. Consultado 10 ago. 2019. Disponible en <https://bit.ly/2MbUOK1>
- Augier, L; Gastaminza, G; Lizondo, M; Arganaraz, M; Willink, E. 2006. Presencia de *Diaphorina citri* (Hemiptera: Liviidae) en el Noroeste Argentino (NOA) (en línea). *Revista de la*

- Sociedad Entomológica Argentina 65 (3-4): 67-68. Consultado 20 feb. 2019. Disponible en <https://bit.ly/2GVGvWC>
- DGEA (Dirección General de Economía Agropecuaria, El Salvador). 2017. Anuario de Estadísticas Agropecuarias El Salvador 2016 - 2017. Santa Tecla, La Libertad, MAG. 94 p.
- Fernández, M; Miranda I. 2005. Comportamiento de *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Liviidae). Parte II: conducta preferencial con relación a la fenología del cultivo (en línea). La Habana, Cuba, Revista de Protección Vegetal 20 (2): 122 - 124. Consultado 15 ago. 2019. Disponible en <https://bit.ly/2NayoZj>
- Hall, DG; Albrigo, LG. 2007. Estimating the relative abundance of flush shoots in citrus with implications on monitoring insects associated with flush (en línea). Hortscience 42 (2) :364-368. Consultado 15 ago. 2019. Disponible en <https://bit.ly/33I7luc>
- Hall, D. 2008. Biology, history and world status of *Diaphorina citri* (en línea). USDA-ARS, Horticultural research laboratory. Consultado 15 ago 2019. Disponible en <https://bit.ly/3dOwqav>
- Kondo, T. 2017. Protocolo de cría y liberación de *Tamarixia radiata* (Waterston) (Hymenoptera: Eulophidae) (en línea). Mosquera, Colombia, CORPOICA. Consultado 20 feb. 2019. Disponible en <https://bit.ly/2Td0QNm>
- Liu, YH; Tsai, JH. 2000. Effects of temperature on biology and life table parameters of the Asian citrus psyllid, *Diaphorina citri* Kuwayama (Homoptera: Psyllidae) (en línea). Annals of Applied Biology 137: 201-206. Consultado 18 ago. 2019. Disponible en <https://cutt.ly/1rNY7hN>
- Martínez Carrillo, JL. 2010. Ficha técnica de *Diaphorina citri* Kuwayama: Psílido Asiático de los Cítricos (en línea). San Luis Potosí, México, SAGARPA, SINAVEF. Consultado 5 abr. 2018. Disponible en <https://bit.ly/2wM9w0E>
- McFarland, C; Hoy, M. 2001. Survival of *Diaphorina citri* (Homoptera: Psyllidae), and Its Two Parasitoids, *Tamarixia radiata* (Hymenoptera: Eulophidae) and *Diaphorencyrtus aligarhensis* (Hymenoptera: Encyrtidae), under Different Relative Humidities and Temperature Regimes (en línea). The Florida Entomologist, 84(2): 227-233. Consultado: 31 ene. 2020. Disponible en <https://cutt.ly/CrNXJmZ>. DOI:10.2307/3496171.
- Mejía, G. 2017. Dinámica poblacional y enemigos naturales de *Diaphorina citri* (en línea). La Libertad, El Salvador, CENTA. Consultado 04 dic. 2019. Disponible en www.centa.gob.sv
- Reyes, R; Cruz, JE. 2007. Diagnóstico del psílido asiático de los cítricos *Diaphorina citri* Kuwayama (Homoptera: Psyllidae), en fincas y viveros de El Salvador. La Libertad, El Salvador, MAG. 25 p.
- Robles, P. 2017. Manual operativo de la campaña contra el Huanglongbing de los cítricos. Tecomán, Col. México, SENASICA.
- SENASICA (Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria, México). 2019. Huanglongbing *Candidatus Liberibacter* spp. (en línea). México. Ficha técnica n° 78. Consultado 26 oct. 2019. Disponible en <https://bit.ly/367xVy7>
- Tsai, JH; Liu, YH. 2000. Biology of *Diaphorina citri* (Homoptera: Psyllidae) on four host plants (en línea). Journal of Economic Entomology 93: 1921-1925. Consultado 18 ago. 2019. Disponible en <https://cutt.ly/IrVBVFV>



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

Artículo de investigación

Desarrollo de tres fórmulas de embutido escaldado a base de carne de conejo y su efecto en su composición nutricional y características organolépticas

Development of three formulas of scalded sausage based on rabbit meat and their effect on nutritional composition and organoleptic characteristics

Escobar-Barrera, N.F.¹, Mena-López, F.¹, Quijada-Contreras, E.A.¹, Torres-de-Ortiz, B.E.²

Correspondencia:
fer_barrera.001@hotmail.com
fmena061@gmail.com
eduardo_aqc@hotmail.com
blanca.bermudes@ues.edu.sv

Presentado:
14 de agosto de 2020
Aceptado:
24 de octubre de 2020

- 1 Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias Agronómicas, Departamento de Zootecnia. Tesista.
2 Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias Agronómicas, Departamento de Zootecnia. Docente Asesor.

RESUMEN

La investigación se realizó en la Estación Experimental y de Prácticas de la Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador, Cantón Tecualuya, Municipio de San Luis Talpa, Departamento de La Paz. El objetivo fue evaluar tres formulaciones de embutido escaldado con variaciones de 55, 50 y 45% de carne de conejo y su efecto en la percepción sensorial. Se analizó un período de 52 semanas que inició en octubre de 2018 y finalizó en octubre de 2019. Se evaluaron tres fórmulas de embutido escaldado a base de carne de conejo y un testigo a base de carne de pollo. Para todas las formulaciones se determinó su efecto en las características organolépticas. Para establecer el grado de aceptación se realizó evaluación sensorial. Se utilizaron las pruebas de satisfacción en cada uno de los tratamientos. La evaluación sensorial se llevó a cabo en el Centro Histórico de San Salvador (enfocada directamente al consumidor final) con una muestra de 80 personas de entre 15 y 60 años. En la toma de datos se utilizó una escala hedónica de nueve puntos. El análisis de datos se realizó mediante el software de análisis estadístico Infostat. Se realizó la prueba no paramétrica que analiza medianas de Kruskal Wallis, permitiendo identificar diferencias significativas en la variable sabor; no obstante, no se encontraron diferencias significativas de las variables color, olor y textura. En la investigación se analizó la relación costo/beneficio. Para ello se estimaron los costos de producción de la libra de carne de conejo, mediante la valorización del precio de la carne de conejo en el mercado y su comparación con la de pollo. Además, cada tratamiento se analizó utilizando percentiles, para definir cual tuvo mayor grado de aceptación según las variables. Se desarrolló un análisis bromatológico para identificar el aporte nutricional de cada uno de los tratamientos. La muestra sirvió para determinar la proteína bajo el método de Kjeldahl, grasa cruda y carbohidratos totales. Al final se compararon los resultados, estos revelaron que el tratamiento 2 presentó mejores características nutricionales. No obstante, se encontró que el tratamiento 1 presenta los costos de producción más bajos, aunque comparándolo con los demás tratamientos esta diferencia no es significativa. En conclusión, el tratamiento que presenta más aceptación es el tratamiento 2. Nutricionalmente se concluye que la carne de conejo es la que aporta beneficios a la salud del consumidor. Esto ubica al tratamiento 2 (50% de carne de conejo) como el que expresa mejores aportes nutricionales en su fórmula; por otro lado, el que presenta menor aporte nutricional es el tratamiento testigo

(tratamiento 0 con 55% de carne de pollo). Al analizar la variable sabor, los tratamientos que contenían más carne presentaron los puntajes de aceptación más altos (55% carne de pollo y 55% carne de conejo).

Palabras clave: Análisis organoléptico, percepción sensorial, prueba de satisfacción, escala hedónica de nueve puntos, percentil, análisis bromatológico

ABSTRACT

The research was carried out at the Experimental Station of the Faculty of Agronomic Sciences, University of El Salvador, Tecualuya county, Municipality of San Luis Talpa, Department of La Paz. The objective was to evaluate three formulations of blanched sausage with variations of 55%, 50% and 45% of rabbit meat and their effect on sensory acceptance of the formulated products. The study period was 52 weeks, between October 2018 and October 2019. Three formulas of blanched sausage, based on rabbit meat and a control based on chicken meat, were evaluated. The effect of the different formulations on the organoleptic characteristics of the product was determined in order to establish the degree of acceptance by means of sensory evaluation. Satisfaction tests were used for each of the treatments. The sensory evaluation was carried out in the Historic Center of San Salvador (focused directly on the final consumer) with a sample of 80 people between 15 and 60 years of age. A nine-point hedonic scale was used in data collection. Data analysis was performed using the Infostat statistical analysis software. A non-parametric test was performed to analyze Kruskal Wallis medians, allowing to identify significant differences in flavor; however, there were not significant differences in color, odor or texture. The research assessed the cost/benefit ratio of the formulations. The production cost of a pound of rabbit meat was estimated, by evaluating the price of rabbit meat in the market in comparison with that of chicken. In addition, each treatment was analyzed using percentiles, to define which formulation had the highest degree of acceptance according to the variables. The nutritional contribution of each of the formulation was determined by bromatological analysis. of protein (by the Kjeldahl method), crude fat and total carbohydrates. The results revealed that treatment 2 (50% rabbit meat) presented the best nutritional characteristics. On the other hand, treatment 1 has the lowest production costs, although when compared with the other treatments the cost difference was not significant. In conclusion, the most widely accepted treatment was treatment 2. Nutritionally, it is concluded that rabbit meat can provide nutritional benefits to the consumer. This positions treatment 2 (50% rabbit meat) as the one that provides the best nutritional contribution in the formula. The product providing the lowest nutritional contribution was the control treatment (55% chicken meat). When analyzing flavor, the formulations containing more meat presented the highest acceptance scores among consumers (55% chicken meat and 55% rabbit meat).

Key words: Organoleptic analysis, sensory perception, satisfaction test, hedonic nine-point scale, percentile, bromatological analysis

INTRODUCCION

Según datos de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO s.f.) indican que para 2010, el mercado de la carne de conejo a nivel mundial fue de 1.5 millones de toneladas. Estas se produjeron principalmente en Asia (48.1%), Europa (30.2%), Sudamérica (16.7%), África (4.7%) y Centroamérica (0.3%). Actualmente, China es el principal productor (39.8%) seguido de Venezuela (15.6%) e Italia (15.2%); México ocupa el decimoctavo lugar mundial, con tan sólo 0.3% de la producción. Sin embargo, Campos (2013), menciona que en América Latina se han hecho esfuerzos por fomentar una industria cunícula estable y duradera, sobre todo en zonas rurales, pero sin muchos

resultados.

La carne de conejo está considerada como un alimento sano y con un alto aporte nutritivo, de acuerdo con Campos (2013), los romanos fueron los primeros en llevar la carne de conejo a sus platos. En el año 476, este animal se dispersó desde la península ibérica su lugar de origen hasta Alemania, Francia y Bélgica. Hoy es una rica fuente de proteína de alta calidad para millones de personas, aunque en otros lugares es una plaga.

Según Terraza (2006), la presentación de esta carne en un producto de consumo popular, como la salchicha; facilitaría su introducción y aceptación en el mercado salvadoreño. Según Campos (2013), la

calidad de un producto está determinada por aspectos de la apariencia, la textura, el aroma y el sabor. Sin embargo, en la actualidad, el valor nutricional es un factor relevante, debido al interés de muchas personas por estar en forma y saludables. Campos y Orellana (2009), sugieren plan de negocios para esta carne y Cury, (2011), caracterizó la carne de conejo y producción de salchicha. Guerrero y Arteaga (1990), menciona la tecnología de carnes y preservación de sus productos.

En la presente investigación se estudiaron tres fórmulas, para evaluar cuál es más nutritiva, económica y aceptada por la población, con el fin de ofrecer una alternativa que ayude a la introducción y aceptación de la carne de conejo, a la diversificación de productos embutidos en el mercado y a la seguridad alimentaria del país.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del Estudio

La investigación se llevó a cabo en el área de procesamiento de cárnicos de la Estación Experimental y de Prácticas, Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador, ubicada en el Cantón Tecualuya, municipio de San Luis Talpa, departamento de La Paz, El Salvador. La fase de campo tuvo una duración de 20 semanas e inició en octubre del 2018 y finalizó aproximadamente en mayo del 2019. La investigación es de tipo descriptivo y se evaluó el efecto de tres fórmulas de salchicha tipo Viena con diferente porcentaje de carne de conejo (55% para tratamiento 1, 50% para tratamiento 2 y 45% para tratamiento 3) más un testigo de carne de pollo, en su aceptabilidad sensorial y calidad nutricional por parte de un panel de 80 consumidores. Los datos obtenidos se estudiaron mediante una prueba de escala hedónica (prueba cuantitativa), por medio de un análisis de las medias de cada una de las variables, las cuales se examinaron por medio de estadística descriptiva y análisis mediante el uso de percentiles con la prueba no paramétrica de Kruskal Wallis, para estudiar variables independientes mediante las medianas de las variables, para medir cada una de

las variables y su efecto, con el interés de comprobar qué muestra es mejor. La parte nutricional se midió con análisis de laboratorio, para determinar: o proteína bajo el método de Kjeldahl, grasa cruda y en carbohidratos totales. Al final se compararon los resultados para identificar “r” qué tratamiento presentó mejores características nutricionales al igual que se concluyó qué tratamiento presenta los costos de elaboración más bajos.

Metodología de campo

Obtención de materia prima

La carne de conejo se compró en una granja ubicada en el cantón Huitiupa, municipio de Aguilares, del departamento de San Salvador, donde se buscó carne de conejo fresca y joven. En cuanto a la carne de pollo fue comprada en un supermercado local.

Todas las especias utilizadas en las diferentes fórmulas de salchichas fueron compradas en mercados de la zona metropolitana de San Salvador, El Salvador.

Para el desarrollo de la investigación se realizó la compra de los siguientes materiales (Cuadro 1):

Elaboración de salchicha

Para la elaboración de la salchicha se realizó el siguiente procedimiento (Figura 1).

Evaluación Sensorial

Se realizó una evaluación sensorial (figura 2), a partir de una prueba de satisfacción, donde se analizaron cada uno de los tratamientos; la evaluación sensorial fue referida directamente al consumidor final y se llevó a cabo en La Plaza Morazán, en el centro de la ciudad de San Salvador, donde participaron 80 personas con edades promedio de 15 – 60 años, a quienes se les presentó un instrumento, donde se evaluaron las muestras a través de una escala hedónica de 9 puntos, en la cual los panelistas asignaron un valor a lo que ellos percibían con sus sentidos, siendo estos desde “me disgusta muchísimo” hasta “me gusta extremadamente”. Para disminuir el error en la prueba se codificó cada muestra. Finalmente, datos

Cuadro 1. Descripción de materias primas utilizadas para la elaboración de salchichas escaldadas (gramos).

Descripción	Cantidad	Descripción	Cantidad
Carne de Conejo	15,528.00	Nuez moscada	13.62
Carne de pollo	4,540.00	Cebolla en polvo	367.74
Harina de soya	2,724.00	Humo liquido	5.00
Hielo	7,990.40	Fosfato	49.94
Sal	454.00	Realzador de sabor	18.16
Comino	404.06	Funda	19.60
Ajo molido	18.16		

se analizaron por medio de estadística descriptiva y análisis mediante el uso de percentiles, se utilizó la prueba no paramétrica de Kruska Wallis, para poder estudiar variables independientes mediante las medianas de las variables, donde se midió cada una de las variables y su efecto, comprobando así que muestra es mejor.

Metodología de Laboratorio

Se desarrollaron análisis nutricionales para cada uno de los tratamientos con el fin de identificar cuál de ellos presentaba mayor cantidad de nutrientes, estos se realizaron en el laboratorio del Departamento de Química Agrícola de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador. Se tomaron dos muestras de 100 g por cada tratamiento y se midieron los siguientes componentes:

- Proteína, por el método micro Kjeldahl.
- Grasa Cruda por el método de Soxhlet.
- Carbohidratos Totales.

Al final se compararon los resultados para determinar qué tratamiento aportó mejores componentes nutricionalmente, respecto a la testigo.

Análisis de datos

Se tomó una muestra de 80 personas(n); el factor de estudio consiste en la incorporación de carne de conejo a una salchicha escaldada tipo Viena, y los tratamientos conformados por el uso de diferentes porcentajes de carne de conejo (55%, 50% y 45%)

más un testigo elaborado con carne de pollo. Para evaluar la prueba de satisfacción, fue necesario la ausencia de un panel entrenado y la necesidad de pruebas que disminuyeran el error, por tanto, se llevó a cabo la prueba de escala hedónica verbal (prueba cuantitativa); mientras que el análisis de los datos y puntajes numéricos de cada muestra se tabularon en el programa INSOSTAT 9.0 de la siguiente manera:

Se tabularon los datos obtenidos de los panelistas, a través de un análisis no paramétrico se analizaron las variables de olor, color, sabor y textura.

A través de la prueba de Kruscal Wallis se determinó si existen diferencias significativas en la mediana de los puntajes asignados a las muestras.

A continuación, se separaron las variables a estudiar (Olor, Color, Sabor, Textura) y su clasificación.

Ya obtenido el cuadro resumen, se compararon medianas de los tratamientos y por medio de percentiles se establecieron diferencias significativas entre ellos.

Metodología Económica

La investigación tiene una base económica que determina la relación del beneficio/costo, para ello se realizó una estimación de los costos de producción de una libra de carne de conejo, mediante la valorización del precio de la carne de conejo en el mercado y su comparación con la de pollo, con la siguiente relación donde:

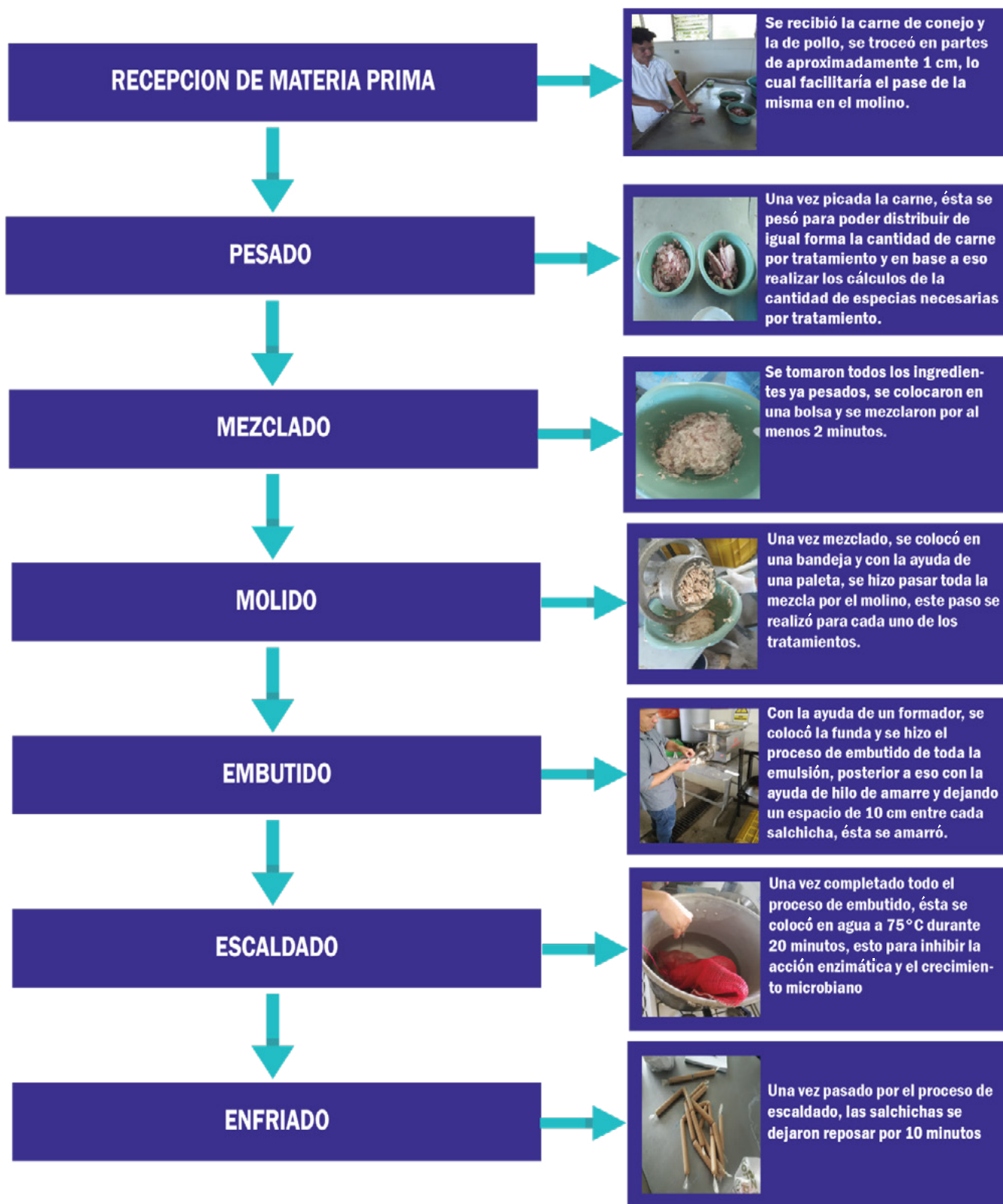


Figura 1. Flujograma para la elaboración de salchicha de conejo escaldada.



Figura 2. Evaluación sensorial de los tratamientos de salchicha escaldada.

$$\text{Costo de carne de conejo} = \frac{\text{Costo de la canal}}{\text{Libras Producidas}}$$

Se obtuvieron los costos de las cuatro formulaciones de salchicha de conejo, mediante la valorización del precio de los insumos para su elaboración, luego se compararon entre sí para determinar la formulación con los costos más bajos y más altos. Por tanto, se tiene que:

$$\text{Costo de salchicha} = \frac{\sum \text{Costos de materia prima}}{\text{libras producidas}}$$

Finalmente, se determinó la fórmula que presenta los costos de elaboración más bajo comparándola con la de pollo y cuál es la más viable para comercialización.

RESULTADOS Y DISCUSION

Los resultados obtenidos en el análisis sensorial

(figura 3) realizado a los tratamientos evaluados, mostraron que aquellos con carne de conejo mantuvieron valores de 6 a 7 (me gusta levemente y me gusta moderadamente). El tratamiento 2 mostró mejores valores respecto a olor, color, sabor y textura.

Esto concuerda con lo investigado por Jiménez (2009) en donde se elaboraron salchichas utilizando carne de conejo y se sometieron a una prueba de nivel de grado, con una escala hedónica de 5 puntos (1: me disgusta mucho, 2 me disgusta, 3 me es indiferente, 4 gusta y 5 me gusta mucho), donde los consumidores evaluaron en rangos de 4 a 5, es decir, las salchichas con carne de conejo tienen un grado de aceptación muy bueno por parte de los consumidores.

Evaluación de olor

Los resultados obtenidos al analizar la variable olor para los tratamientos con carne de conejo, a partir del percentil 25 tienen un grado de aceptación, sin

ANÁLISIS ORGANOLÉPTICO

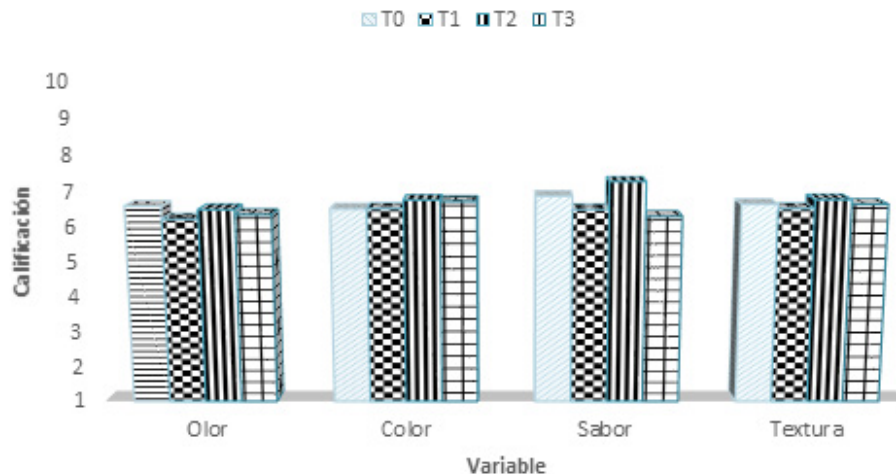


Figura 3. Análisis organoléptico de las variables de olor, color, sabor y textura para los tratamientos de embutidos escaldados utilizando carne de conejo y el testigo utilizando carne de pollo

embargo, el testigo fue el que resultó con mayor preferencia por parte del consumidor (Cuadro 2). El 25 % de las personas que analizaron los productos que contienen carne de conejo (tratamiento 1, 2 y 3) coinciden en que no les gusta el olor, ni les disgusta, mientras que existe un 75% expresa que estos tienen un mayor grado de aceptación; sin embargo, el tratamiento que contiene carne de pollo (tratamiento 0) muestra según el percentil 25 que al 25% de las

personas les gusta levemente, mientras que un 75% expresa que el olor tiende a mejorar y es más aceptable por las personas.

Esto difiere con lo investigado por Jiménez (2009), donde al comparar una salchicha de carne de conejo contra una de cerdo, esta alcanzó un puntaje mayor al ser evaluada organolépticamente.

Cuadro 2. Resultados de análisis de la variable olor.

Resultados análisis de olor bajo el percentil 25				
Tratamiento	0 (55 % carne de pollo)	1 (55% carne de conejo)	2 (50% carne de conejo)	3 (45% carne de conejo)
Olor	6	5	5	5

Según los resultados obtenidos por medio de la prueba de Kruskal Wallis, y el programa INFOSTAT (figura 4) al analizar la variable olor, muestra que no hay diferencia significativa entre las medianas de los tratamientos.

Los resultados indican que aquellos productos que contienen mayor porcentaje de grasa expresan mejores características en olor y sabor, así como menciona Jiménez (2009) quien indica que las

diferencias en olor y sabor en los componentes volátiles se producen cuando las grasas se calientan y en las diferencias en el aroma de la carne de las diversas especies.

Evaluación de Sabor

Al analizar la variable sabor para los tratamientos con carne de conejo, a partir del percentil 25 tienen un grado de aceptación similar al testigo (Cuadro 3). Los

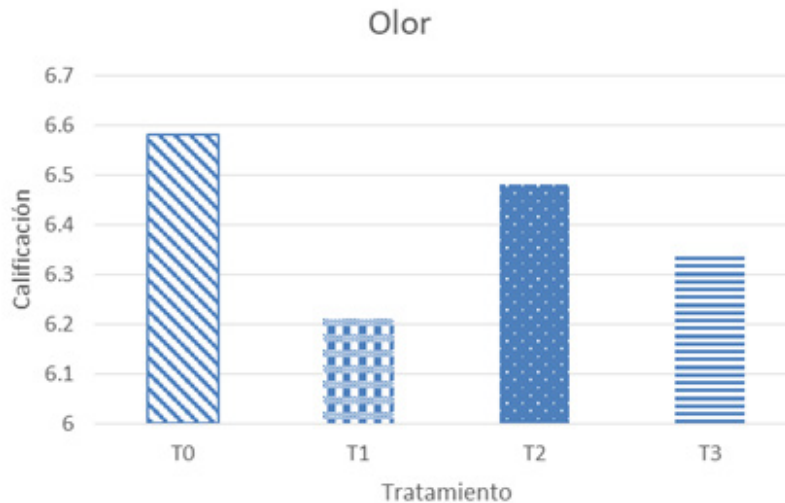


Figura 4. Resultados de la variable olor para los tratamientos de embutidos escaldados con carne de conejo y el testigo con carne de pollo.

resultados muestran que el 25 % de las personas que degustaron el producto expresan que los tratamientos que contienen carne de pollo (tratamiento 0) y los que contienen carne de conejo (tratamiento 1 y 2), tienen un sabor que les gusta levemente, mientras que un 75% de estas personas expresan que el sabor les gusta (desde me gusta levemente hasta me gusta extremadamente); sin embargo, el tratamiento que contiene más proteína vegetal (tratamiento 3) indica que el 25% de las personas expresan que no les gusta, ni les disgusta.

En la variable sabor, los resultados obtenidos mediante la prueba de Kruskal Wallis con el

programa INFOSTAT (Cuadro 4), el valor de la mediana del tratamiento 3 es de 6.50, mientras de los tratamientos 0, 1 y 2, no muestran diferencia entre sí, por lo cual podemos decir que hay diferencias significativas entre tratamientos en cuanto a la característica organoléptica sabor, donde en la figura 5, se puede observar que el tratamiento número 2 es el que muestra mayor aceptabilidad por parte del consumidor. Esto concuerda con lo investigado por Jiménez (2009), donde al comparar una salchicha de conejo contra una de cerdo, esta obtuvo un promedio mayor, alcanzando un puntaje 4.49 en una escala hedónica de 5 puntos.

Cuadro 3. Resultados de análisis de sabor.

Resultados análisis de sabor bajo el percentil 25				
Tratamiento	0 (55 % carne de pollo)	1 (55% carne de conejo)	2 (50% carne de conejo)	3 (45% carne de conejo)
Sabor	6	6	6	5

Cuadro 4. Resultados de la prueba de Kruskal Wallis para la variable sabor.

Variable	Tratamientos	N	Medias	D.E.	Medianas	H	P
Sabor	0	80	6.86	1.78	7.00	13.57	0.0028
Sabor	1	80	6.48	1.93	7.00		
Sabor	2	80	7.26	1.54	7.00		
Sabor	3	80	6.29	1.88	6.50		

SABOR

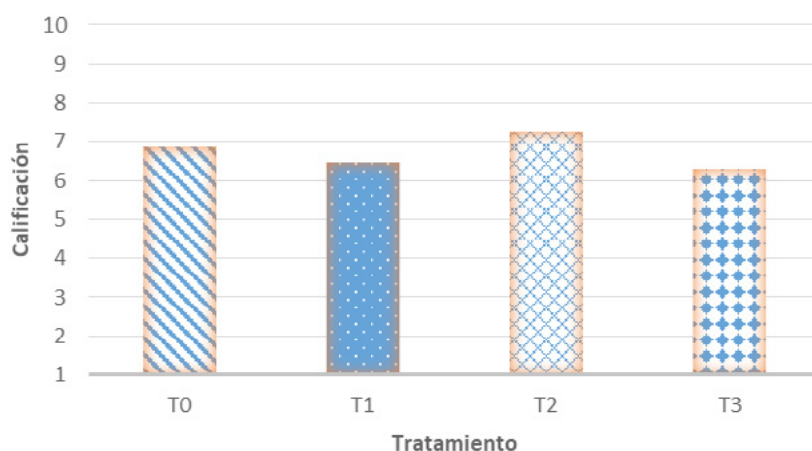


Figura 5. Variable sabor para los tratamientos de embutidos escaldados, utilizando carne de conejo y el testigo (carne de pollo).

Evaluación de Color

Los resultados obtenidos al analizar la variable color para los tratamientos con carne de conejo, a partir del percentil 25 tienen un grado de aceptación similar a lo obtenido por el testigo (Cuadro 5). El 25% de personas que analizaron el producto expresaron que los tratamientos que contienen carne de conejo (Tratamiento 2 y 3) tienen un color que les gusta levemente, mientras que un 75% de estas personas expresan que el color es mejor; estos resultados coinciden con los obtenidos para el tratamiento que contiene carne de pollo (tratamiento 0). Sin embargo, el tratamiento 1 que contiene la mayor cantidad de carne de conejo (55% de carne) fue la que al 25% de las personas no les gusta, ni les disgusta, es decir, un 75% de los degustadores expresa que este tratamiento tiene un mejor grado de aceptación, pero no mayor a los otros.

La diferencia entre una carne y otra se asocia por su color, que depende de la forma química en la que se encuentre una proteína presente en las fibras musculares-mioglobina. La carne de conejo contiene poca cantidad de mioglobina y hemoglobina (proteína transportadora de oxígeno) debido a esto se puede decir que no existe una diferencia de color entre los tratamientos evaluados (Eroski s.f.).

En la variable color, según el resultado obtenido por medio de la prueba de Kruskal Wallis, a través del programa INFOSTAT (figura 6), muestran que no hay diferencia significativa entre las medianas de los tratamientos. Esto no coincide con la investigación realizada por Jiménez (2009), donde la variable color fue predominante en la evaluación de una salchicha de conejo contra una de cerdo, en el cual obtuvo mayor grado de aceptabilidad la salchicha de carne de conejo.

Cuadro 5. Resultados de análisis de color.

Resultados análisis de color bajo el percentil 25				
Tratamiento	0 (55 % carne de pollo)	1 (55% carne de conejo)	2 (50% carne de conejo)	3 (45% carne de conejo)
Color	6	5	6	6

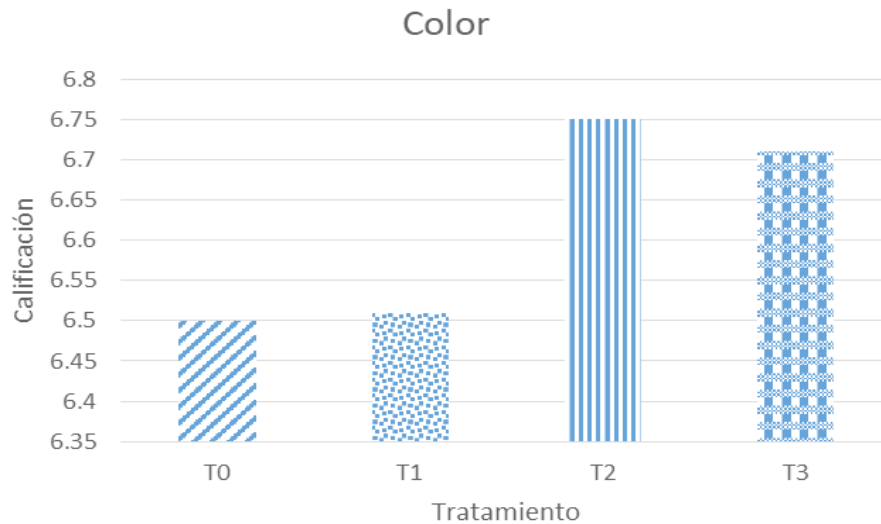


Figura 6. Resultados de la variable color para los tratamientos de embutidos escaldados utilizando carne de conejo y el testigo utilizando carne de pollo.

Evaluación de Textura

Los resultados obtenidos al analizar la variable textura para los tratamientos con carne de conejo, a partir del percentil 25 tienen un grado de aceptación superior al obtenido por el testigo (Cuadro 6). El 25% que degustaron el producto coinciden que los tratamientos que contienen carne de conejo (tratamiento 1, 2 y 3) tienen una textura que les gusta levemente, mientras que existe un 75% que expresa que estos tienen un mayor grado de aceptación; sin embargo el tratamiento que contiene carne de pollo (tratamiento 0) muestra según el percentil 25 que el 25% de las personas no les gusta, ni les disgusta; mientras que un 75% expresa que la textura tiende a mejorar y es más aceptable por las personas.

Esto coincide con el Centro de Información Nutricional sobre la Carne de Conejo en la cual explican que “los alimentos, además de su capacidad nutritiva, tienen el aspecto placentero que proporcionan sus cualidades organolépticas aroma, sabor, textura”, por tanto, la textura como un atributo ayuda a la aceptabilidad de la carne de conejo (Eroski s.f.).

Según los resultados obtenidos por medio de la prueba de Kruskal Wallis, utilizando el programa Infostat (figura 7), al analizar la variable textura, muestra que no hay diferencia significativa entre las medianas de los tratamientos. Los resultados concuerdan con lo investigado por Jiménez (2009), donde expresa que los resultados a favor de la carne de conejo pueden atribuirse a la utilización de una carne más tierna y con menos disposición de grasa.

Cuadro 6. Resultados de análisis de textura.

Resultados análisis de textura bajo el percentil 25				
Tratamiento	0 (55 % carne de pollo)	1 (55% carne de conejo)	2 (50% carne de conejo)	3 (45% carne de conejo)
Textura	5	6	6	6

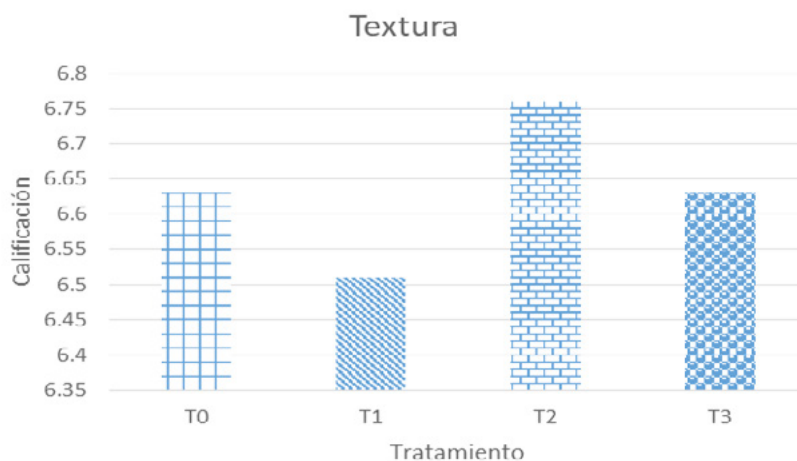


Figura 7. Resultados de la variable textura para los tratamientos de embutidos escaldados utilizando carne de conejo y el testigo utilizando carne de pollo.

Comparación Nutricional

Según los resultados bromatológicos donde se analizó por tratamiento: la cantidad de proteína, grasa cruda, ceniza, fibra y carbohidratos totales se puede determinar que los tratamientos que contienen carne de conejo tienen mejores características nutricionales en comparación al tratamiento testigo.

Esto coincide con lo mencionado por Eroski (s.f.), donde describe que la principal fuente nutricional de la carne de conejo son las proteínas de alto valor biológico, que viene dado por la capacidad de aportar todos los aminoácidos necesarios para los seres humanos. A lo que hay que añadir su buena digestibilidad, favorecida por su bajo contenido en fibras colágenas. El contenido graso de la carne de conejo tiene un buen perfil lipídico, muy favorable con respecto a las otras carnes y muy similar a la de los pescados.

Proteína

Según los estudios organolépticos, los mejores evaluados por las personas fueron los tratamientos 0 y 2, donde no hay diferencia entre estos tratamientos, ya que estos se mantuvieron en el mismo puntaje según el análisis realizado; sin embargo, los tratamientos que contienen carne de conejo presentan mejores características nutricionales en comparación al tratamiento que contiene carne de pollo, brindando

así mejores características sensoriales al producto los cuales lo hacen más preferible al consumidor.

Según Guanaman (2011), la carne de conejo tiene un contenido de proteína de alrededor de un 20.8 % en comparación a la carne de cerdo y bovino que poseen 14.5 y 17.5 % de proteína respectivamente. Esto coincide con los datos obtenidos en el análisis bromatológico, el cual muestra un mayor porcentaje de proteína en la carne de conejo en comparación a la de pollo.

Grasa

Los porcentajes de grasa obtenidos concuerdan con lo descrito por Guanaman (2011), donde indica que la carne de conejo cuenta con un 10.2% de grasa, mientras que la carne de res y cerdo poseen 21.8 y 31.3% de grasa.

Evaluación económica

La investigación tiene una base económica que determina la relación del beneficio/costo, para ello se realizó una estimación de los costos de producción por tratamiento, mediante la valorización de cada ingrediente que conlleva cada fórmula y su comparación con el precio de salchichas de pollo tipo gourmet en el mercado, en el cual se tomó el promedio del precio de tres tipos de salchicha, lo que resultó un promedio de USD\$4.68 por libra, por lo tanto, se determina lo siguiente (Cuadro 7).

Cuadro 7. Determinación beneficio/costos por tratamientos.

Tratamiento	T0		T1		T2			
	Unidad (g)	Costo (\$)	Unidad (g)	Costo (\$)	Unidad (g)	Costo (\$)	Unidad (g)	Costo (\$)
Carne	812.42	2.94	812.42	10.29	738.36	9.43	663.85	8.44
Hielo	321.17	0.44	323.17	0.44	324.16	0.44	325.15	0.44
Grasa de cerdo	148.12	0.32	148.12	0.32	223.91	0.49	221.46	0.49
Harina de soya	148.12	0.28	148.12	0.28	145.28	0.28	221.12	0.43
Sal	14.36	0.01	14.36	0.01	14.41	0.01	14.45	0.01
Cebolla en polvo	10.32	0.08	10.32	0.08	10.36	0.08	10.39	0.08
Comino	4.4	0.05	4.4	0.05	4.41	0.05	4.43	0.05
Ajo molido	8.84	0.05	5.84	0.05	5.85	0.05	5.87	0.05
Fosfato	4.4	0.01	4.4	0.01	4.41	0.01	4.43	0.01
Humo liquido	2.2	0.01	2.2	0.01	2.21	0.01	2.21	0.01
Nuez moscada	1.44	0.05	1.44	0.05	1.44	0.05	1.45	0.05
Realsador de sabor	0.72	0.01	0.72	0.01	0.72	0.01	0.72	0.01
Sub Total (costo)	1475.51	4.25	1475.51	11.6	1475.51	10.91	1475.52	10.07
Producto de Mercado	1475.51	15.21	1475.51	15.21	1475.51	15.21	1475.52	15.21
Beneficio / Costo		10.96		3.61		4.3		5.14

Según la determinación de beneficio/costos de los distintos tratamientos, el más viable económicamente es el tratamiento testigo (T0) que consiste de carne de pollo, debido a que en el mercado se encuentra a un menor precio; para los tratamientos 1,2 y 3 que lleva carne de conejo claramente se nota un aumento en el costo debido al alto valor de la carne, siendo la más económica la que lleva menos carne (T3) y la más cara la que posee mayor cantidad de carne (T1). Pero mediante la comparación con productos gourmet del mercado podemos observar que nuestros tratamientos poseen márgenes de utilidad. Para el análisis beneficio-costos, se tomó en cuenta el precio del mercado de salchicha a base de carne de pollo, se buscaron tres diferentes marcas de salchicha que cumplieran con porcentajes altos de carne de pollo para su elaboración, se tomó precio promedio de USD\$15.21 por 3.25 libra, el cual se comparó con el precio por tratamiento, obteniendo diferencias de USD\$10.96 T0, USD\$3.61 T1, USD\$4.30 T2 y USD\$5.14 T3. Por lo tanto, al compararlo con un producto gourmet, la salchicha de conejo es una buena opción, ya que genera utilidades. Dichos resultados concuerdan con Jiménez (2009), quien muestra que

la fórmula con los costos de elaboración más bajos es la que contenía carne de conejo.

CONCLUSIONES

Nutricionalmente la carne de conejo es la que aporta mejores beneficios, siendo el tratamiento 2 (50% de carne de conejo) el que expresa mejores aportes nutricionales en su fórmula; por otro lado, el que presenta menor aporte nutricional es el tratamiento testigo (tratamiento 0 con 55% de carne de pollo).

Por medio de la prueba de aceptación, se concluye que el tratamiento con mejores valores es el tratamiento 2 que contiene una clasificación de “me gusta levemente” bajo el percentil 25.

De las variables organolépticas analizadas, la única que presentó diferencia significativa es la variable sabor, a diferencia de las otras (color, olor y textura) que sus resultados no son significativos.

El tratamiento que presenta mejores resultados desde la perspectiva económica en relación beneficio-costos es el tratamiento 3 (45% de carne de conejo), conteniendo mayor porcentaje de proteína vegetal.

BIBLIOGRAFÍA

- Campo Rivera J. 2013. Salchicha de conejo (en línea) Colombia consultado el 24 de septiembre de 2017. disponible en: <http://www.unperiodico.unal.edu.co/dper/article/salchichas-de-conejo>.
- Campos C y Orellana Y. 2009. Diseño de un plan de negocio que ayude a los cunicultores en la creación de una empresa productora y comercializadora de carne de conejo ubicada en el municipio de Tacuba Departamento de Ahuachapán. Licenciatura en administración de empresas. San Salvador. El Salvador. 195p.
- Cury, K. 2011. Caracterización de carne de conejo y producción de salchicha. Rev. Colombiana Cienc. Anim. 3(2). (en línea). Consultado 16 agosto. 2019. Disponible en <http://revistas.unisucre.edu.co/index.php/recia/article/viewFile/377/419>
- Eroski, s.f., Carne de Conejo, proteínas de calidad (en línea), Disponible en: <http://ideasana.fundacioneroski.es/web/es/28/carne/>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Italia). s.f. Procesados de carne. Salchicha tipo Viena (en línea). Consultado 6 sep. 2017. Disponible en <http://www.fao.org/3/a-au165s.pdf>
- González Redondo, P; Caravaca Rodríguez, F. 2007. Producción de conejos de aptitud cárnica (en línea). Consultado 6 sep. 2017. Disponible en http://www.uco.es/zootecniaygestion/img/pictorex/09_10_34_Cunicultura.pdf
- Guanaman Cayambe, RC. 2011. Utilización de carne de conejo en la elaboración de salchicha tipo Frankfurt (en línea). Consultado 3 sep. 2017. Disponible en <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/2323/1/84T00073.pdf>
- Guerrero lagareta I y Arteaga Martínez MR. 1990. Tecnología de Carnes Elaboración y preservación de productos cárnicos. México. Trillas, 54p.
- Jiménez, A. 2009. Utilización de carne de conejo en la elaboración de una salchicha escaldada, Licenciatura en Zootecnia, San Carlos, Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, 43p.
- Terraza Valencia F. 2006. Producción de salchicha de carne de conejo (en línea) México D.F. consultado el 24 de Sep. de 2017 disponible en: http://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/20331/tesis_francisco_terrazas.pdf?sequence=1&isAllowed=y



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

Artículo de investigación

Manejo fitosanitario de la marchitez bacteriana (*Ralstonia solanacearum* E.F. Smith) del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill)

Phytosanitary management of bacterial (*Ralstonia solanacearum* E.F. Smith) wilt of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill)

López-Nieto, M.A.¹, Morán-Rosales, S.E.¹, Segovia-Molina, J.A.¹,
Rivas-Flores, A.W.², Pérez-Ascencio, M.A.³, Serrano-Cervantes, L.²

Correspondencia:
mlopeznieto@yahoo.es
elizabethmor_209@hotmail.com
jackalejandro@hotmail.es

Presentado:
24 de julio de 2020
Aceptado:
03 de noviembre de 2020

- 1 Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias Agronómicas, Departamento de Protección Vegetal. Estudiante tesista.
- 2 Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias Agronómicas, Departamento de Protección Vegetal. Docente asesor.
- 3 Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias Agronómicas, Departamento de Fitotecnia. Docente asesor.

RESUMEN

La investigación se realizó de febrero a octubre de 2015 en el vivero de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador, a 700 msnm, entre los 13° 43' 6" N, 89° 12' 11" W, con precipitación anual de 1751 mm y temperatura anual media de 23.1°C. El estudio comprendió dos fases: La primera consistió en la recolección de tejido enfermo, aislamiento e identificación de la bacteria *Ralstonia solanacearum* E.F. Smith. En los tratamientos se evaluó el hipoclorito de sodio en un ensayo in vitro, para determinar la dosis mínima inhibitoria del desarrollo de *R. solanacearum* E.F. Smith. La segunda fase inició con la inoculación de 200 ml de suspensión bacteriana (3x10⁸ ufc/ml) por bolsa con suelo (22.5 lb). Se estableció un diseño completamente al azar con nueve tratamientos y diez repeticiones. Los tratamientos aplicados fueron hipoclorito de sodio al 0.25%, bocashi, microorganismos de montaña en fase líquida (MML), solarización al suelo, ácido salicílico, ceniza, y *Trichoderma harzianum*, comparados con los testigos: relativo (Agri-Gent® antibiótico) y absoluto (sin control). Las plantas de tomate se trasplantaron 15 días después de aplicados los tratamientos. Para el efecto de los tratamientos se registró la incidencia y severidad una semana después del trasplante hasta la novena. La incidencia se utilizó para calcular el área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE) y la severidad para observar el efecto del tratamiento sobre el desarrollo de la enfermedad en la planta. Las ABCPE para los tratamientos evaluados resultaron estadísticamente similares al tratamiento relativo (Agri-Gent®), según la prueba de Dunnett (5%), excepto el tratamiento con MML, el tratamiento con ceniza (4 onzas de ceniza por planta) fue el más eficiente para el control de la incidencia (90% de efectividad) y severidad (0.4 de escala) de la enfermedad. Los resultados de esta investigación demuestran que existen tratamientos alternativos al uso de antibióticos para el control de la marchitez bacteriana del tomate, igual o mejor en términos económicos y ecológicos.

Palabras clave: Marchitez bacteriana del tomate, *Ralstonia solanacearum* E.F. Smith, medidas fitosanitarias.

ABSTRACT

The research was carried out from February to October 2015 in the nursery of the Faculty of Agronomic Sciences of the

University of El Salvador, at 700 meters above sea level, between 13°43'6"N, 89°12'11"W, annual precipitation of 1751 mm and mean annual temperature of 23.1°C. The study comprised two phases: The first consisted of the collection of diseased tissue, isolation and identification of the bacterium *Ralstonia solanacearum* E.F. Smith. Sodium hypochlorite was evaluated in vitro, to determine the minimum inhibitory dose for the development of *R. solanacearum* E.F. Smith. The second phase began with inoculation of 200 ml of bacterial suspension (3x10⁸ cfu/ml) per individual 22.5 lb bag containing soil. The experimental design was completely randomized, with nine treatments and ten repetitions. The treatments applied were 0.25% sodium hypochlorite, bocashi, mountain microorganisms in liquid phase (MML), soil solarization, salicylic acid, ash, and *Trichoderma harzianum*. The controls were: relative (Agri-Gent® antibiotic) and absolute (no control). The tomato plants were transplanted 15 days after applying the treatments. The effect of treatments, as well as the incidence and severity of the wilt were recorded beginning one week after transplantation until the ninth week. The incidence of the wilt was used to calculate the area under the disease progress curve (AUDPC) and the severity to observe the effect of the treatment on the development of the disease in the plant. The AUDPCs' were statistically similar to the relative treatment (Agri-Gent®), according to Dunnett's test (5%), excepting for the MML treatment. The ash treatment (4 ounces of ash per plant) was the most efficient treatment for controlling the incidence of wilt (90% effectiveness) and the severity (0.4 scale) of the disease. The results of this investigation show that there are alternative treatments to the use of antibiotics for the control of bacterial wilt in tomato, equal to or better, in economic and ecological terms.

Key words: bacterial wilt of tomato, *Ralstonia solanacearum* E.F. Smith, phytosanitary measures

INTRODUCCIÓN.

La marchitez bacteriana del tomate causada por *Ralstonia solanacearum* E.F. Smith, es una enfermedad de gran importancia económica a nivel mundial (CATIE 1990, CIP 1996, FHIA *et al.* 2012). Uno de los principales problemas al que se enfrentan los productores salvadoreños de tomate. Según el Programa de Hortalizas del CENTA (Centro de Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal), las pérdidas en rendimiento y calidad del cultivo de tomate a nivel nacional, son causadas en un 80% por bacterias; entre ellas el 60% es debido a *Ralstonia solanacearum* E.F. Smith.

El tratamiento de la marchitez bacteriana del tomate requiere la aplicación de antibióticos al suelo, significa una medida antieconómica y ecológicamente inaceptable (FHIA *et al.* 2012). Debido a esto en los últimos tiempos, la investigación de medidas fitosanitarias para el control de la marchitez bacteriana ha estado dirigida hacia la evaluación de enmiendas orgánicas, control biológico, control físico e inducción de resistencia. Además, para algunas regiones del país, los productores están utilizando lejía comercial para controlar el problema.

Algunos procesos que han demostrado ser una alternativa para el manejo de la marchitez bacteriana

de tomate son la incorporación de ceniza, bocashi, *Trichoderma harzianum*, solarización al suelo y aplicación de ácido salicílico, debido a la forma particular del efecto de cada tratamiento (Valbuena-Calderón 2003, López-Tzoc 2004, Lino-Rodríguez y Portal-Miranda 2013, Mandal *et al.* 2013, Narasimha-Murthy *et al.* 2013, Kongkiattikajorn *et al.* 2007 citado por Yuliar *et al.* 2015).

Entre los objetivos planteados estaba, comprobar la eficacia de tratamientos físicos (solarización), biológicos (*Trichoderma harzianum*, microorganismos de montaña líquido y bocashi), químicos (antibióticos y lejía comercial), enmiendas (ceniza) e inducción de resistencia (ácido salicílico), que pudieran ser utilizados por los productores dentro de un programa de manejo integrado de la marchitez bacteriana del tomate.

MATERIALES Y MÉTODOS.

Ubicación y duración de la investigación.

Se realizó a través de dos fases: una de laboratorio y la otra de campo, ambas se realizaron en la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador, el estudio se estableció en el vivero de dicha facultad en San Salvador, a 700 msnm, entre los 13° 43' 6" N, 89° 12' 11" W, con precipitación anual de 1751 mm y temperatura anual media de 23.1°C. (García *et*

al. s.f.).

Metodología de laboratorio.

Aislamiento, purificación e identificación de la bacteria *Ralstonia solanacearum* E.F. Smith.

Se colectaron plantas de tomate con síntomas de marchitez bacteriana, se seleccionaron fragmentos de tejido afectado y se desinfectaron en alcohol etílico al 70% durante un minuto (García *et al.* 1999); posteriormente los tejidos se dejaron reposar por 15 minutos en agua destilada estéril (Cartín y Wang 1996). Esta suspensión se sembró estriando por agotamiento con el asa bacteriológica estéril en placa Petri con medio Cetrimide (Lino y Portal 2013).

Para obtener colonias puras se seleccionaron aquellas con características morfológicas a *Ralstonia solanacearum* E.F. Smith (Champoiseau 2009), estas se transfirieron sucesivamente tres veces, a través de siembras por agotamiento. La primera siembra se hizo en medio MacConkey, para obtener colonias puras de bacilos Gram negativos, luego al medio Cetrimide y finalmente se repicó a tubos con agar nutritivo con bisel. Las placas se incubaron a temperatura ambiente por 24 horas en posición invertida.

Para identificar el género y especie de la bacteria aislada, se realizaron las pruebas: KOH al 3%, movilidad, oxidasa, catalasa, Voges Proskauer, TSI (agar, hierro, triple azúcares) y Arginina, siguiendo la metodología descrita por Schaad citado por García *et al.* 1999 y Sasidharan *et al.* 2013.

Preparación del inóculo e inoculación de *R. solanacearum* E.F. Smith.

Las colonias puras de *R. solanacearum* E.F. Smith en agar nutritivo, fueron inoculadas en agua peptonada al 1%, después de 48 horas de crecimiento, luego se inoculó el suelo de cada bolsa con 200 ml de suspensión bacteriana a una concentración de 3×10^8 ufc/ml (0.1 escala de McFarland) de *R. solanacearum* E.F. Smith.

Evaluación preliminar *in vitro* de las dosis de hipoclorito de sodio (lejía comercial).

Se evaluaron ocho dosis de hipoclorito de sodio comercial, a una concentración del 5% de NaClO y un tratamiento control (sin lejía), con cuatro repeticiones cada uno. Las dosis se prepararon diluyendo 0.5, 1, 2, 3, 4, 5, 7 y 10 ml de NaClO en 100 ml de PDA (Papa Dextrosa Agar). Se utilizaron cuatro repeticiones por tratamiento en placas Petri. En cada placa, se sembró la bacteria *R. solanacearum* E.F. Smith. Después de 24 horas de incubación a temperatura ambiente en posición invertida, se determinó que la dosis mínima que inhibió el desarrollo de *R. solanacearum* E.F. Smith, fue el tratamiento de 5 ml de NaClO por 100 ml de PDA.

Análisis físico-químico del suelo y de los tratamientos.

Previamente a la inoculación del suelo con la bacteria, se determinó el pH, al igual que los tratamientos de ceniza, microorganismos de montaña líquidos e hipoclorito de sodio al 0.25%. También a la ceniza se le hizo un análisis del contenido de calcio. Al término de la investigación se tomó el pH del suelo de cada tratamiento.

Todos los análisis se realizaron en el laboratorio de suelos del Departamento de Química Agrícola de la Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador.

Metodología de campo.

Aplicación de los tratamientos.

Al momento de establecer el diseño, los tratamientos se distribuyeron al azar, siendo los siguientes:

T0= Testigo absoluto (sin aplicación);

T1= Testigo relativo, aplicación de Agri-Gent® (1.25 gramo de sulfato de gentamicina y oxitetraciclina por litro de agua);

T2= Suelo solarizado durante 6 semanas a condiciones ambientales locales.

T3 = *Trichoderma harzianum* (1 gramo por litro de agua);

T4 = Bocashi (9 oz/planta);

T5 = Microorganismos de montaña en fase líquida, sustancia concentrada (250 ml/ planta);

T6 = Ácido salicílico (0.5 gramos por litro de agua);

T7 = Hipoclorito de sodio al 0.25% (5 ml de lejía por un litro de agua);

T8 = Ceniza (4 oz).

Los tratamientos se aplicaron 30 días después de inocular la bacteria al suelo, a excepción del tratamiento 6, ácido salicílico (0.5 g/L) que se aplicó al follaje un día después del trasplante de las plantas y luego una vez por semana durante el ciclo del cultivo.

Los tratamientos, T3: *Trichoderma harzianum* (1 g/L de EXCALIBUR GOLDEN 5 FS®), T7: hipoclorito de sodio al 0.25%, t5: MML (microorganismos de montaña líquidos) solución concentrada, y el T1: bactericida Agri-Gent® (1.25 g/L de sulfato de gentamicina y oxitetraciclina), se aplicaron en volumen de 250 cc de suelo, los tratamientos T4: bocashi (9 oz) y T8: ceniza (4 oz) se incorporaron al suelo. Para el tratamiento T2: solarizado, el suelo se cubrió con un plástico de polietileno negro, dejándolo a la intemperie seis semanas. También, se realizó una segunda aplicación de los tratamientos MML en la etapa de prefloración al cultivo.

Trasplante y fertilización.

El trasplante se realizó dos semanas después de la aplicación de los tratamientos, los plantines a los 29 días de emergencia, tenían dos a tres hojas verdaderas desarrolladas y una altura promedio de 10.35 cm.

La fertilización del cultivo se efectuó un día después del trasplante por la técnica de fertirriego, con fertilizantes hidrosolubles, formulados según la etapa fenológica del cultivo considerando los factores físicos-químicos de la solución nutritiva; se aplicaron dosis dos veces al día, tres veces por semana durante cada etapa fenológica del cultivo. Además, semanalmente se aplicó fertilizante foliar e

insecticida sistémico.

Toma de datos.

El registro de incidencia y severidad se inició una semana después del trasplante, a través de dos observaciones por semana durante todo el ciclo del cultivo. El rendimiento se determinó con la cosecha de los frutos. Para determinar la incidencia por tratamiento, se contó el total de plantas y el número de plantas con marchitez bacteriana (MB), luego se calculó el porcentaje de incidencia de marchitez bacteriana (IMB) con la siguiente fórmula (Prio *et al.* 2004)

$$IMB = \frac{\text{n}^\circ \text{ de plantas con MB}}{\text{n}^\circ \text{ de plantas del tratamiento}} \times 100$$

Para el registro del índice de severidad, se utilizó con la escala subjetiva de Kempe y Sequeira modificada por Rivas Flores, quien la fundamentó por su experiencia en la aparición de los síntomas del cultivo, mencionando que las escalas de severidad son relativas según autores. Esta escala subjetiva describe cada grado de la siguiente manera (Fig. 1):

0: planta sana (sin síntomas).

1: marchitez leve.

2: marchitez moderada.

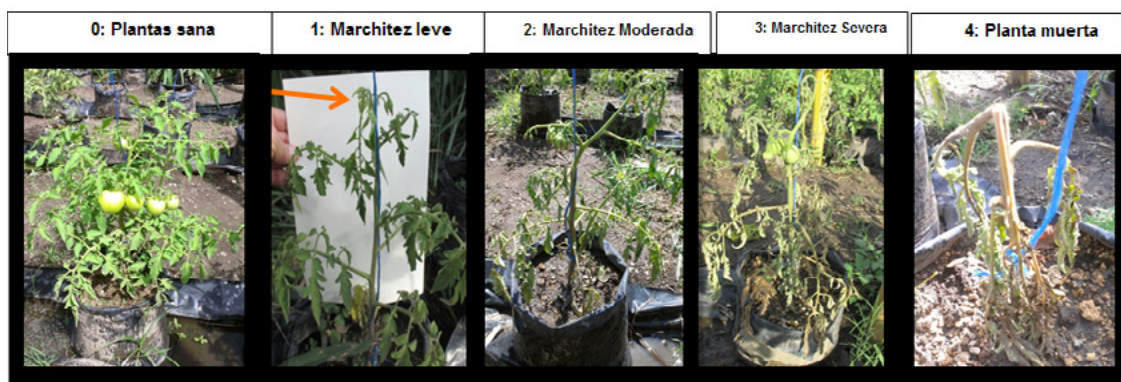
3: marchitez severa.

4: planta muerta por marchitez.

El rendimiento se determinó con el peso y número de frutos cosechados por tratamiento.

Metodología estadística.

Se estableció un diseño completamente al azar con nueve tratamientos y diez repeticiones. La unidad experimental estuvo constituida por cada una de las bolsas (14x16 pulgadas) con suelo y la unidad de muestreo fue cada una de las plantas.



Fuente: Kempe y Sequeira (1983), modificada por Rivas Flores

Figura 1. Escala subjetiva del índice de severidad de la marchitez bacteriana del tomate.

Los datos de incidencia registrados durante nueve semanas, se sometieron a un análisis matemático de epidemia de la enfermedad, utilizando el modelo del área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE), calculada mediante la fórmula: $ABCPE = ((y_i + y_{i+1}) / 2) (t_{i+1} - t_i)$. Donde, y = incidencia de la enfermedad y t = tiempo de evaluación (Sermeño *et al.* 2001). Los resultados estadísticos de los análisis de varianza (ANOVA) de incidencia y área bajo la curva del progreso de la enfermedad, se sometieron a la prueba Tukey (5%) y Dunnett (5%) respectivamente. Los análisis estadísticos se realizaron con el programa Minitab 15. La variable severidad de los tratamientos se analizó, a través del promedio del índice de severidad.

Metodológica económica.

Para justificar económicamente los tratamientos fitosanitarios en el manejo de la marchitez bacteriana del tomate y recomendar cuál de los tratamientos es más rentable; se utilizaron las metodologías propuesta por Ramírez (1994) para el análisis de presupuestos parciales (PP) y Sermeño *et al.* (2001) en el índice de costo efectividad (C/E).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

Efecto de los tratamientos fitosanitarios aplicados al suelo y al follaje

La marchitez bacteriana es una enfermedad de ciclo simple que generalmente se cuantifica por medio de la incidencia de la enfermedad, ya que depende

de la cantidad de inóculo inicial, para afectar a las plantas de forma más o menos severa. La severidad da una idea clara del efecto de los tratamientos en el desarrollo de la enfermedad en las plantas.

Los tratamientos fitosanitarios aplicados al suelo y al follaje, indicaron que hubo efectos positivos sobre la severidad de la marchitez bacteriana. Las aplicaciones con ceniza (T8) y Agri-Gent® “antibiótico” (T1) mostraron los valores más bajos de 0.8, en ambos casos, del índice de severidad durante el ciclo del cultivo, seguido de los tratamientos solarización (T2) y NaClO 0.25% (T7) con 1.2 de índice de severidad para ambos casos; con 1.6 para los tratamientos *Trichoderma harzianum* (T3), bocashi (T4) y ácido salicílico (T6); y los tratamientos microorganismos de montaña líquido “MML” (T5) con 2 y testigo (T0) con 4, mostrando los índices de severidad más altos (Fig. 2).

La menor severidad se presentó en el tratamiento con ceniza, el análisis químico realizado a la ceniza determinó que el Calcio (Ca), se encuentra en un 23.25 %, la función de este elemento es fortalecer las defensas de la planta, lo cual reduce la severidad de la marchitez bacteriana, esto coincide con el estudio de Huber (1990), citado por ABEAS (1997) el cual afirma que la aplicación de Ca en plantas de tabaco y tomate reduce la severidad.

Efecto de los tratamientos fitosanitarios aplicados al suelo y al follaje

Para el manejo de la marchitez bacteriana del tomate, se evaluaron ocho tratamientos, cuyos efectos se

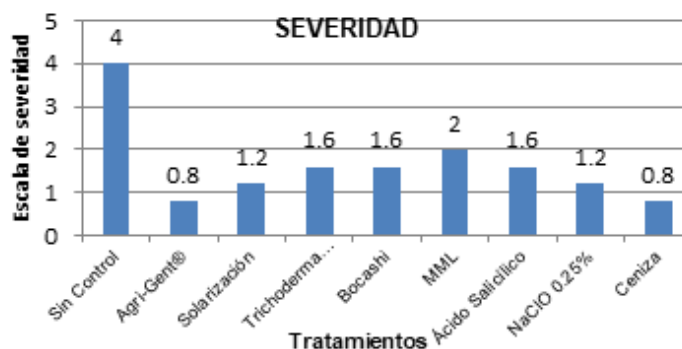


Figura 2. Índice de Severidad de la marchitez bacteriana del tomate por tratamiento.

evaluaron a través de la incidencia. Para evaluar el efecto de la enfermedad en las plantas se inoculó el suelo con 200 ml por bolsa de una solución de la bacteria *R. solanacearum* E.F. Smith en una concentración de 3×10^8 ufc /ml. A los 30 días después de la inoculación se aplicaron los tratamientos, excepto el tratamiento con ácido salicílico. Después de 14 días de aplicados los tratamientos se realizó el trasplante de las plantas de tomate. Las lecturas de incidencia se iniciaron a partir de la primera semana del trasplante hasta la novena semana.

Los primeros síntomas de la enfermedad se observaron una semana después del trasplante en los tratamientos T5 (microorganismos de montaña líquido), T6 (ácido salicílico) y T7 (NaClO 0.25%) con un 10 % de incidencia de la enfermedad en cada uno de ellos, continuando la segunda manifestación de síntomas en la quinta semana en los tratamientos T0 (testigo absoluto), T1 (testigo relativo con Agri-Gent®), T2 (solarización) y T8 (ceniza) con una

incidencia del 60%, 20%, 10% y 10% respectivamente. Los tratamientos T3 (*Trichoderma harzianum*) y T4 (bocashi) mostraron una incidencia retardada de la enfermedad con valores del 20% de incidencia en ambos casos, a la sexta semana (Fig. 3).

La incidencia temprana en algunos tratamientos, se debió al estrés generado al momento del trasplante de las plantas de tomate y la cantidad de inóculo en el suelo, lo que facilitó el ingreso de la bacteria al sistema radicular de las plantas. Otro factor importante que contribuyó a incrementar los niveles de incidencia de marchitez bacteriana, fue que las plantas estuvieron sometidas a intensas lluvias y a condiciones de anegamiento durante la etapa de floración y formación de frutos, lo que concuerda con lo mencionado por FHIA *et al.* (2012). Las lluvias favorecieron el apareamiento de otros patógenos como el tizón tardío que impactó en el rendimiento del cultivo en algunos tratamientos.

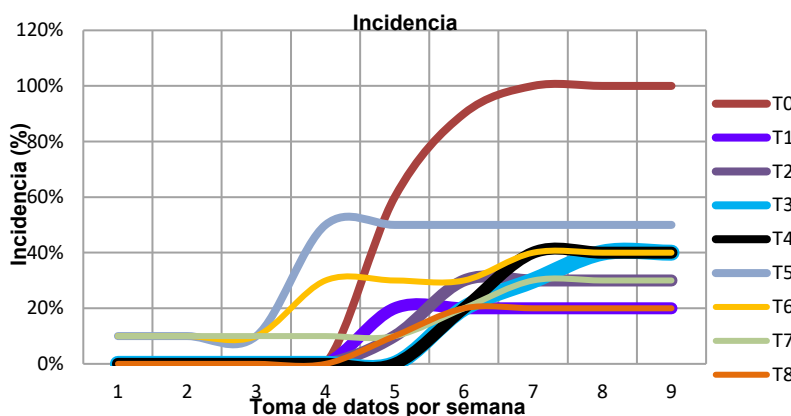


Figura 3. Incidencia de la marchitez bacteriana del tomate en un período de nueve semanas.

Los resultados del análisis de ANOVA para la variable incidencia (% de plantas enfermas) indicaron que todos los tratamientos que se aplicaron al suelo y al follaje tuvieron un efecto diferente sobre el desarrollo de la enfermedad a un nivel de significancia del 5% ($p \leq 0.05$).

De acuerdo a las diferencias obtenidas en el ANOVA se realizó la prueba de comparación de medias de Tukey (Cuadro 1), las cuales se presentaron en dos grupos estadísticamente diferentes. Los tratamientos testigo (T0), Micro-organismos de montaña líquido

(T5) y ácido salicílico (T6) son estadísticamente similares; pero estadísticamente diferentes a los tratamientos Agri-Gent® (T1), solarización (T2), *Trichoderma harzianum* (T3), bocashi (T4), lejía (T7) y ceniza (T8).

Los mayores porcentajes de control de incidencia por la bacteria se observaron en los tratamientos Ceniza (90%), Agri-Gent® (89%), solarización (86%), *Trichoderma harzianum* (86%), bocashi (84%) y NaClO 0.25% (82%).

Cuadro 1. Comparación de promedios por Tukey ($\alpha=0.05$), de los tratamientos para la variable porcentaje de incidencia de la enfermedad.

Tratamiento	Medias	% de incidencia	% de control	Grupos
T0 (Sin control)	0.5000	50	50	a
T1 (Agri-Gent®)	0.1111	11	89	b
T2 (Solarización)	0.1444	14	86	b
T3 (<i>Trichoderma harzianum</i>)	0.1444	14	86	b
T4 (Bocashi)	0.1556	16	84	b
T5 (MML)	0.3667	37	63	a
T6 (Ácido Salicílico)	0.2667	27	73	a
T7 (NaClO 0.25%)	0.1778	18	82	b
T8 (Ceniza)	0.1000	10	90	b

Las letras a y b indican que existen dos grupos estadísticamente diferentes en cuanto al porcentaje promedio de incidencia de la enfermedad

La ceniza fue el tratamiento más efectivo para el control de la incidencia de la enfermedad, ya que obtuvo un valor promedio del 10%, esto se debió al posible fortalecimiento de las defensas de la planta, las paredes celulares por el calcio, lo cual se manifestó también en una menor severidad de la enfermedad. El resultado coincide con Lino y Portal (2013) que registraron la aplicación de enmiendas al suelo con ceniza previo a la siembra, redujeron a un 12.5% la incidencia de la marchitez bacteriana del tomate, este efecto puede ser relacionado a las condiciones de pH poco favorables para el desarrollo de la bacteria en el suelo. El análisis efectuado al suelo previo a la aplicación del tratamiento presentó un pH de 6.9 y al final del ensayo se incrementó a 7.12, esto indica que el suelo se volvió más alcalino; Lemaga *et al.*

2001, Lemaga *et al.* 2005, Messiha 2006, citados por Muthoni *et al.* (2012), informan que la incidencia de la marchitez bacteriana se incrementa en un bajo pH del suelo (ácido) y a la baja fertilidad del suelo.

El tratamiento de solarización durante seis semanas redujo la incidencia de la enfermedad en un 14%, estos resultados coinciden con López (2004), quien afirma que la solarización del suelo por un periodo de seis semanas resulta eficiente para reducir la incidencia de la marchitez bacteriana del tomate a un 8.75%, estas diferencias pueden ser explicadas de acuerdo a la radiación solar en diferentes zonas geográficas. Las temperaturas registradas durante el proceso de solarización fluctuaron entre 33.17°C a 48.33°C a una profundidad de 10 cm, la reducción de la incidencia se puede explicar porque los tratamientos térmicos

al suelo de 45°C por dos días antes de la siembra, reducen la población bacteriana en un 60-97% y la incidencia de la marchitez bacteriana en tomate en un 50-75% (Kongkiattakajorn *et al.* 2007, citado por Yuliar *et al.* 2015).

Trichoderma harzianum retardó y alcanzó un porcentaje final de 86% de control de incidencia. El hongo puede actuar de dos formas: como antagonista y como fortalecedor de las defensas de la planta. Según estudios realizados por Ceballos *et al.* (2014), la aplicación de *Trichoderma sp.* tiene un efecto positivo que permite recuperar el equilibrio biológico en el suelo, ya que logra reducir notoriamente las poblaciones de organismos patógenos como *Ralstonia solanacearum* raza 2. El formulador del producto comercial Excalibur Gold 5 FS (*Trichoderma harzianum*) Advaced Biological Marketing, recomienda utilizar este producto no de forma antagonista, sino como fortalecedor de las defensas de las plantas. En este caso el efecto de reducción de la incidencia puede explicarse por una combinación de los dos efectos antes mencionados.

El bocashi presentó un porcentaje final de 84% de control de incidencia. Este tratamiento tuvo la particularidad de retardar el apareamiento de la incidencia de la enfermedad, pues manifestó hasta la sexta semana. Este efecto es muy importante en términos epidemiológicos, porque las plantas no son muy afectadas en los estadios fenológicos más susceptibles en su desarrollo. Esto posiblemente se explica por el aporte de nutrientes que fortalecen las plantas y la acción de microorganismos actuando como antagonistas. Investigaciones realizadas por Fikri (2013), demostraron que la aplicación de bocashi elaborado a base de hojas de canela (*Cinnamomum burmannii* B1), clavo de olor (*Syzygium aromaticum*) y hojas de betel (*Piper betle* L.) luego de 30 días, suprimió el desarrollo de las poblaciones bacterianas de *R. solanacearum* E.F. Smith en la rizosfera del tomate con un porcentaje de inhibición de 71 a 90.08%.

Otro tratamiento que se utilizó fue lejía comercial; ya que algunos productores de hortalizas la usan en

ciertas regiones del país, empíricamente sin dosificar el producto, lo que a futuro puede provocar esterilidad al suelo y fitotoxicidad a las plantas. La aplicación de lejía comercial a una concentración del 0.25% de hipoclorito de sodio (NaClO), controló la incidencia de la enfermedad en un 82%. El hipoclorito de sodio es un producto químico utilizado como desinfectante, su modo de acción en los microorganismos se debe a sus propiedades como agente oxidante que afecta la membrana celular (Resh citado por García 2012). El dato de incidencia alcanzado (18%), demostró que la lejía, si reduce la incidencia de la enfermedad, de igual manera el hipoclorito de sodio (6 y 8 mg L⁻¹), reduce en un 8.3% de incidencia la marchitez vascular del tomate causado por *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* (García 2012). Si bien la prueba de Tukey al 5%, solamente separa dos grupos de tratamientos, en términos absolutos referentes a epidemiología las diferencias entre los grupos son importantes.

Área bajo la curva de progreso de la enfermedad (ABCPE) para la variable incidencia.

Para el análisis epidemiológico de la enfermedad bajo diferentes tratamientos aplicados al suelo y al follaje, se utilizó el modelo de área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE) para la variable incidencia, el cual muestra las unidades de enfermedad acumuladas durante el período de evaluación. En términos epidemiológico los valores promedios del ABCPE (Fig. 4), demostraron que el tratamiento T8 (Ceniza) presentó la menor cantidad de enfermedad acumulada durante el desarrollo del cultivo con 0.09 UE (Unidades de Enfermedad) y el T0 (sin control) el tratamiento con el mayor promedio de 0.44 UE, seguido del tratamiento T5 (microorganismos de montaña) con 0.38 UE; para los tratamientos T1 (0.9 UE), T2 (0.13 UE), T3 (0.14 UE), T4 (0.16 UE), T6 (0.24 UE) y T7 (0.16 UE) se mantuvo un promedio menor de UE respecto al tratamiento testigo.

El ABCPE depende del apareamiento de la sintomatología en las plantas y del efecto que los tratamientos tienen sobre el período de incubación de la enfermedad. En los tratamientos en que la enfermedad apareció tempranamente se debió a

que, al momento del trasplante, las plantas sufrieron estrés para poder adaptarse a las nuevas condiciones medioambientales (T5, T6 y T7), con respecto al testigo absoluto, este alcanzó el 100% de incidencia

en el estado fenológico de floración, aunque según Champoiseau 2009, los síntomas de la enfermedad pueden aparecer en cualquier etapa del crecimiento de la planta.

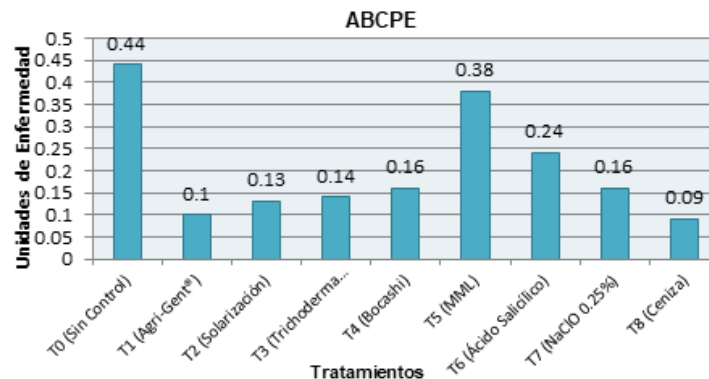


Figura 4. Unidades de enfermedad acumuladas (UEA) en los tratamientos durante el ciclo del cultivo de tomate.

Según la prueba de Dunnett, para el área bajo la curva de progreso de la enfermedad (ABCPE) de la incidencia (Cuadro 2), al compararlo con las medias con el tratamiento Agri-Gent® (T1) testigo relativo, resultaron dos grupos con diferencia significativa ($p \leq 0.05$). Esto indica que todos los tratamientos a excepción de los microorganismos de montaña líquido (T5), son estadísticamente similares entre sí, al control ejercido por Agri-Gent®, lo que demuestra que las medidas fitosanitarias son igual o más eficientes que el uso de antibióticos para el control de *Ralstonia solanacearum* E.F. Smith.

Cuadro 2. Prueba Dunnett comparación de las medias de las unidades de enfermedad para ABCPE de la incidencia de la marchitez bacteriana del tomate.

Tratamiento	Medias	Grupos
T1_1	0.10	a
T2_1	0.13	a
T3_1	0.14	a
T4_1	0.16	a
T5_1	0.38	b
T6_1	0.24	a
T7_1	0.16	a
T8_1	0.09	a

Las calificaciones promedio con letra diferente al Testigo relativo (T1=Agri-Gent®) son diferentes al T1, según la prueba de Dunnett ($\alpha=0.05$)

Según los datos obtenidos para las pruebas estadísticas realizadas, el tratamiento que mostró los mejores resultados en cuanto a promedio de control de incidencia fue el T8 (ceniza), la investigación demostró que es el mejor de los tratamientos fitosanitarios aplicados para la marchitez bacteriana del tomate. De igual forma las mayores cantidades de enfermedad se mostraron en el tratamiento T0 que es el testigo sin ningún control y T5 aplicación de microorganismos de montaña líquido (MML) al suelo. Los MML tuvieron muy poco efecto, probablemente por la cantidad y calidad de microorganismos que fue muy variable.

Análisis económico.

En términos estadísticos el único tratamiento diferente al testigo relativo (T1= Agri-Gent®) fueron los MML, habiendo siete tratamientos similares (Dunnett al 5%), lo cual no nos permite tener una elección muy viable, razón por la que fueron necesarios los análisis económicos del presupuesto parcial (PP) e índice de costo-efectividad (C/E).

Presupuestos parciales.

Los presupuestos parciales son un tipo de análisis económicos que miden el ingreso neto cuando se cambia de tecnologías para el manejo de una plaga. Se asume que la actividad agrícola es completamente

rentable.

El mejor tratamiento en términos económicos, es aquel que presentó un ingreso neto (IN) positivo siendo en este caso el T7 (NaClO 0.25%), de USD\$ 0.07 centavos para diez plantas (Fig. 5). Esto representa un costo de USD\$ 98.00 y un ingreso bruto de USD\$ 1,666.00 por mz (1 mz = 0.7 ha).

En este trabajo el mejor resultado para el control de la enfermedad, se obtuvo con el tratamiento a base de ceniza (T8), el análisis de presupuesto parcial, resultó ser negativo porque la ceniza que se utilizó provino de la combustión de un manojo de leña con un costo de USD\$ 1.50 produciendo 2.5 lb, igual cantidad utilizada para el tratamiento. Los rendimientos no fueron cuantificados totalmente, debido a diferentes factores tales como enfermedades (tizón tardío, virosis), insectos y roedores, razón por la cual, se realizó otro tipo análisis económico.

Índice de costo-efectividad.

El índice de costo-efectividad es una metodología económica que se usa cuando los datos de producción no se tienen o no se consideran tan confiables. Mide la relación que existe entre el costo de un tratamiento y la efectividad en el control de una plaga específica, se considera que entre menor es la magnitud del índice es mejor.

El mejor tratamiento en términos de índice de costo-efectividad es el T7 (NaClO 0.25%), con un valor de 0.15 (Fig. 5), un costo de USD\$ 0.07 y una efectividad de 82% para diez plantas. Los tratamientos *Trichoderma harzianum* (T3) y NaClO 0.25% (T7), presentaron iguales índices de costo-efectividad, con valores de 0.15 (Fig. 18); sin embargo, los presupuestos parciales para cada uno de ellos fueron de USD\$ 1.03 y de USD\$ 0.07 respectivamente, por lo que concluimos que el T3 no es económicamente viable, ya que hay pérdidas monetarias.

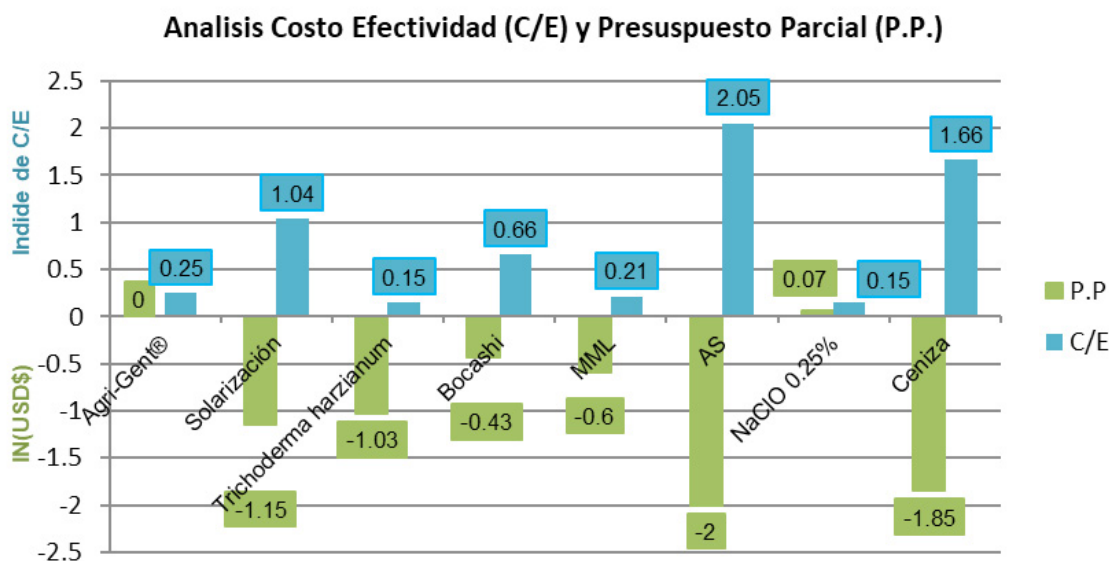


Figura 5. Costos Efectividad y Presupuesto Parcial de los tratamientos.

CONCLUSIONES.

La aplicación de ceniza al suelo a una dosis de cuatro onzas por planta, presentó una efectividad del 90% en la reducción de la incidencia, y la severidad en un grado promedio de 0.9.

Trichoderma harzianum retarda y reduce la incidencia

de la enfermedad en un 86% y la aplicación de bocashi controló en un 84% la incidencia de la marchitez bacteriana del tomate.

La solarización de seis semanas al suelo es muy eficiente en un 86% para el control de la marchitez bacteriana del tomate.

Las aplicaciones de ácido salicílico (0.5 g por litro) al follaje semanalmente, presentaron una efectividad del 83% sobre la incidencia y un grado de severidad promedio de 1.0.

Los microorganismos de montaña en fase líquida aplicados al suelo, no son un tratamiento eficiente para el manejo de la marchitez bacteriana del tomate.

El tratamiento con hipoclorito de sodio (NaClO) al 0.25% (5ml de lejía comercial con 5% de NaClO/L) es el más rentable, con el mayor ingreso neto de USD\$0.07 y el menor índice de costo-efectividad de 0.15.

Los tratamientos fitosanitarios (ceniza, solarización, bocashi, *Trichoderma harzianum*, hipoclorito de sodio al 0.25% y ácido salicílico) aplicados al suelo y follaje, son similarmente eficientes como el uso de antibiótico para el control de la marchitez bacteriana del tomate.

BIBLIOGRAFÍA.

- ABEAS (Asociación Brasileña de Educación Agrícola Superior). 1997. Protección de plantas. Curso especializado por educación a Distancia. Universidad Nacional de Vicosa Centro de Ciencias Agrícolas. Departamento de Fitopatología. Módulo 09-control integrado de las enfermedades de las plantas. p.32.
- Cartín, J; Wang, A. 1996. Aislamiento de agentes supresores a *Pseudomonas solanacearum* en tomate (*Lycopersicon esculentum*). (en línea). X Congresos Nacional Agronómico, III Congreso Fitopatogeno, resumen 168. Consultado 20 jul. 2015. Disponible en http://www.mag.go.cr/congreso_agronomico_x/a50-2388-II_107.pdf
- CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CR). 1990. Guía para el manejo integrado de plagas del tomate. Turrialba, CR. p.77-79
- Ceballos, G; Álvarez Bolaños, E; Bolaños, M. 2014. Reducción de poblaciones de *Ralstonia solanacearum* raza 2 (Smith) en plátano (*Musa AAB Simmonds*) con aplicación de extractos de *Trichoderma* spp. (Alexopoulos y Mims) y bacterias antagonistas. (en línea). Palmira, Colombia. Consultado 12 jul. 2015. Disponible en http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica/rt/printerFriendly/43121/45819
- Champoiseau, PG. 2009. *Ralstonia solanacearum* raza 3 biovar 2. (USB). Trad. P Nina; JC Hong. Universidad de Florida, US. 15 p.
- CIP (Centro Internacional de Papa). 1996. Marchitez bacteriana manual de capacitación. CIP, Lima, PR. f. 2, p.1-9
- FHIA (Fundación Hondureña de Investigación Agrícola, HN); USAID (United States Agency International Development); IPM CRSP (Integrated Pest Management Collaborative Research Support Program). 2012. Marchitez bacteriana en las solanáceas: su reconocimiento y manejo integrado. (en línea). Lima, Corte, HN, FHIA. Consultado 27 mar 2014. Disponible en <http://www.fhia.org.hn>
- Fikri, EN. 2013. Effect of foliar application of cinnamon, clove and betel against *Ralstonia solanacearum* population in the rhizosphere of tomato (En Indonesio). (en línea). Agroscentiae 20 (1): 26-30. Consultado 5 jul. 2015. Disponible en <http://id.portalgaruda.org/>
- García Jiménez, A. 2012. Desinfección de sustrato y solución contaminados con *Fusarium oxysporum* f. sp. *Lycopersici*. (en línea). Tesis Mag. Sc. Chapingo, MX, Universidad Autónoma Chapingo. Consultado 29 oct. 2015. Disponible en <http://www.chapingo.mx/>
- García, L; Zimmermana, R; Soriano, L; Pérez, C; Ayala, P. s.f. Caracterización de condiciones meteorológica en El Salvador. (en línea). San Salvador, SV. Consultado 20 julio 2015. Disponible en <http://portafolio.snet.gob.sv/>
- García, R; García, A; Delgado L. 1999. Marchitez bacteriana del tomate causada por el biovar 2 a, de *Ralstonia solanacearum* en algunas localidades del estado Merida-Venezuela. (en línea). Merida, VE. Consultado 15 jul. 2015. Disponible en <http://www.saber.ula.ve>
- Kempe J., Sequeira L. 1983. Biological control of bacterial wilt of potatoes: Attempts to induce

- resistance by treating tubers with bacteria. *Plant Dis.* 67, 499–503.
- Lino Rodríguez, CM; Portal Miranda, LH. 2013. Evaluación de enmiendas al suelo para prevenir la marchitez bacteriana (*Ralstonia solanacearum*) en el cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum*). Tesis Ing. Agr. San Salvador, SV, Universidad de El Salvador. 73 p.
- López Tzoc, JG. 2004. Evaluación del solarizado para el control de *Ralstonia solanacearum* en el cultivo de tomate *Lycopersicon esculentum*, en la Aldea el Tempisque, Agua Blanca, Jutiapa. (en línea). Tesis Ing. Agr. GT, Universidad de San Carlos Guatemala. Consultado 28 Abr. 2014. Disponible en http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01_2131.pdf
- Mandal, S; Kar, I; Mukherjee, KA; Acharya, P. 2013. Elicitor-Induced Defense Responses in *Solanum lycopersicum* against *Ralstonia solanacearum*. (en línea). *The Scientific World Journal*. Consultado 7 ago. 2015. Disponible en <http://www.hindawi.com/journals/tswj/2013/561056/>
- Muthoni, J; Shimelis, H; Melis, R. 2012. Management of Bacterial Wilt [*Ralstonia solanacearum* Yabuuchi et al., 1995] of Potatoes: Opportunity for Host Resistance in Kenya. (en línea). *Journal of Agricultural Science*. 4(9):64-78. Consultado 3 jul. 2015. Disponible en <http://www.ccsenet.org/journal/index.php/jas/article/viewFile/16264/12707>
- Narasimha Murthy, K; Nirmala Devi, D; Srinivas, C. 2013. Efficacy of *Trichoderma asperellum* against *Ralstonia solanacearum* under greenhouse conditions. (en línea). Department of Microbiology and Biotechnology, Bangalore University, Jnanabharathi Campus, Bangalore-560 056, Karnataka, India. Consultado 28 Abr. 2014. Disponible en <http://www.annalsofplantsciences.com>
- Prio, S; Barea, O; Equise, H; Aley, P. 2004. Capacitación e investigación participativa para el manejo integrado de la Marchitez Bacteriana de la papa: experiencias en Perú y Bolivia. (en línea). Lima, PE, CIP. Consultado 14 may 2014. Disponible en <http://books.google.com.sv>
- Ramírez, O. 1994. El uso de presupuestos parciales en el manejo integrado de plagas. CR, CATIE. (4 p.). (No. 11)
- Sasidharan Sreedevi; Nanu Remani, K; Sailas Benjamin. 2013. Biotic stress induced biochemical and isozyme variations in ginger and tomato by *ralstonia solanacearum*. (en línea). *American Journal of Plant Sciences* 4(8):1601-1610. Consultado 15 jun. 2015. Disponible en <http://www.scirp.org/>
- Sermeno, JM; Rivas, AW; Menjívar, RA. 2001. Manual técnico manejo integrado de plagas. Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias Agronómicas, San Salvador. SV. p.33-34
- Valbuena Calderón, OE. 2003. Resistencia inducida en el control de la marchitez bacteriana (*Ralstonia solanacearum*) en tomate. (en línea). Tesis Ing. Agr. Lic. Guácimo, CR, Universidad EARTH. P. 35. Consultado 30 abr. 2014. Disponible en <http://usi.earth.ac.cr/glas/sp/dpg/2000097.pdf>
- Yuliar; Asi Nion, Y; Toyota, K. 2015. Recent Trends in Control Methods for Bacterial Wilt Diseases Caused by *Ralstonia solanacearum*. (en línea). *Microbes Environ* 30(1):1-11. Consultado 4 jul. 2015. Disponible en <http://translate.google.com.sv/translate?hl=es-419&sl=en&u=http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4356456/&prev=search>



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

Artículo de investigación

Evaluación de cinco fuentes alimenticias en la reproducción de caracoles de agua dulce (*Pomacea flagellata* Say, 1827)

Evaluation of five food sources in the reproduction of freshwater snails (*Pomacea flagellata* Say, 1827)

Martínez-Carranza, T.B.¹, Ruano-Iraheta, C.E.¹

Correspondencia:
carlos.ruano3@ues.edu.sv

Presentado:
09 de noviembre de 2020
Aceptado:
17 de noviembre de 2020

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

RESUMEN

Se evaluaron cinco fuentes alimenticias en la reproducción de caracoles de agua dulce *Pomacea flagellata* en una vivienda de la calle antigua El Carmen, municipio de San Salvador. La investigación se desarrolló durante 204 días. A los caracoles en estudio se les administraron sus respectivas fuentes alimenticias a razón de 5g semanales por individuo. Se sexaron cinco hembras y un macho por repetición y tratamiento. Se aplicó el diseño de bloques al azar con cinco tratamientos: T1=hoja de ojushte, T2=hoja de chipilín, T3=cáscara de banano, T4=concentrado para tilapia y T5= Ninfa acuática. Las variables en estudio fueron: peso de los caracoles, oviposiciones, volumen de ootecas, inicio de eclosión, porcentaje de eclosión y sobrevivencia de los caracoles a los 35 días de nacidos. En los resultados, los tratamientos produjeron iguales efectos sobre todas las variables. El tratamiento a base de hoja de ojushte a pesar de no ser significativo, presentó los mejores resultados sobre la variable de peso, con una media igual a 8.16 ± 0.42 g. Todos los tratamientos presentaron por lo menos una oviposición, con un total de 9 posturas al final del experimento. El mayor número de oviposiciones se observó en la alimentación con hojas de ojushte (5 ootecas); asimismo, se logró el mayor volumen de ootecas con una media de $21.63 \text{ cm}^3 \pm 11.66 \text{ cm}^3$. A este le siguieron la ninfa acuática, concentrado de tilapia, hoja de chipilín y cáscara de banano. El menor tiempo de eclosión fue a los 28.5 días con el tratamiento de cáscara de banano. El mejor porcentaje de eclosión y sobrevivencia se obtuvo con el tratamiento a base de hoja de ojushte con un 89.06 ± 5.70 y $89.13 \pm 5.45\%$ respectivamente. Las principales conclusiones fueron: no se observó diferencia significativa en todas las variables y en los diferentes tratamientos se contó al menos una postura durante el experimento. El tratamiento a base de hoja de ojushte presentó el mayor número de posturas y sobrevivencia de caracoles. En la comparación de costos se observó que la hoja de ojushte y ninfa acuática presentaron los menores costos.

Palabras clave: Caracol, *Pomacea flagellata*, reproducción, fuentes alimenticias.

ABSTRACT

Five food sources were evaluated in the reproduction of freshwater snails *Pomacea flagellata* lodged in a house on the old street of El Carmen, municipality of San Salvador. The investigation lasted 204 days. The snails under study were fed their respective

food sources at a rate of 5g per week per individual. Five females and one male were sexed by repetition and treatment. A randomized block design was used with five treatments: T1 = ojushte leaf, T2 = chipilin leaf, T3 = banana peel, T4 = concentrate for tilapia and T5 = aquatic nymph. Variables under study were weight of the snails, oviposition, volume of ootheca, hatching onset, hatching percentage and survival of the snails at 35 days of birth. The different treatments produced the same effects on all the variables. The ojushte leaf-treatment, despite not being statistically significant, presented the best effect on the weight of the snails, with a mean of 8.16 ± 0.42 g. All treatments presented at least one oviposition, with a total of 9 ovipositions at the end of the experiment. The highest number of oviposition was observed when feeding ojushte leaves (5 ootheca); likewise, the highest volume of ootheca was achieved with a mean of $21.63 \text{ cm}^3 \pm 11.66 \text{ cm}^3$. This was followed by feeding with aquatic nymph, tilapia concentrate, chipilin leaf and banana peel. The shortest hatching time was 28.5 days when feeding banana peel. The best percentage of snail hatching and survival was obtained when using the ojushte leaf treatment (89.06 ± 5.70 and $89.13 \pm 5.45\%$ respectively). The main conclusion was: There were not significant differences in all the variables, but there was at least one posture in each of the different treatments. The ojushte leaf treatment presented the highest number of ovipositions and best survival of snails. Regarding cost of the different food sources for the snails, the ojushte leaf and the aquatic nymph were the lowest.

Keywords: Snail, *Pomacea flagellata*, reproduction, food sources.

INTRODUCCIÓN

Los caracoles son facultativos. Se pueden alimentar de pequeñas partículas con su rádula multidentada que poseen (Lobo Vargas 1986). Su ovoposición se realiza por la noche en las paredes internas donde estos se encuentran. Ovopositan a una altura promedio de 28 a 65 cm sobre el nivel del agua. Los desoves pueden presentar una longitud de 2.3cm a 4.5cm, y un ancho de uno a tres cm. Al momento de la puesta, las ootecas presentan un color naranja pálido intenso que al final de incubación se torna color blanquecino. Al eclosionar los huevos, los caracoles caen individual o en grupos y al contacto con el agua, estos se sumergen hasta el fondo del estanque (Amador del Ángel *et al.* 2006).

García (1992), analizó los requerimientos nutricionales del caracol, los que valoró inicialmente por su aptitud de proveer energía. Determinó que la cría de caracol necesita 14.5% de proteína bruta y 5% de fibra cruda. Mientras que el caracol adulto requiere 12.7% de proteína bruta y un 5.8% de fibra cruda.

Cordero *et al.* (2003), describieron la hoja de ojushte (*Brosimum alicastrum*), como un forraje valioso en época de seca, ya que las hojas son altamente digestibles (>60%) y contienen hasta un 13% de proteína. Barneaud Castro (1999), determinó que la hoja de chipilín (*Crotalaria longirostrata*), contiene

un 7.0% de proteína y un 0.8% de grasa, siendo altamente nutricional. Intriago Flor y Paz Mejilla (2000), observó que la cáscara de guineo (*Mussa sp*) posee un 13% de fibra cruda en base seca y que sus principales componentes son: celulosa (25%) y lignina (60%). Benavides *et al.* (2012), mediante análisis bromatológicos determinó que la ninfa acuática (*Eichornia crassipes*), posee un 17.77% de proteína y 30.46% de grasa en base seca. El concentrado de tilapia posee 40% de proteína, 6.0% de grasa y un 3.0% de fibra cruda (García Valenzuela 2014).

Argueta de Enríquez (1995), estudió la reproducción del caracol (*Pomacea flagellata*), en la estación de Santa Cruz Porrillo, observándose diferentes estadios de madurez sexual mediante frotis y cortes histológicos de las gónadas. Determinó que tanto hembras y machos de tallas grandes como medianas son sexualmente maduros y que existen cambios en coloración de las gónadas sexuales en sus diferentes estadios de la maduración sexual.

Amador del Ángel (2006), comprobó que el caracol *Pomacea flagellata* con temperatura de 29°C, puede eclosionar a los 15 días promedio después del desove presentando altos porcentajes de eclosión del 80-90%. Registró un total 18 ootecas que obtiene entre 77 y 483 crías por desove, con una longitud individual entre de 0.02 cm y 0.04 cm por huevo una media de 0.03cm y un volumen máximo de 38.88 cm^3 y un

mínimo de 2.53cm³.

Benavides *et al.* (2012), evaluaron la densidad de siembra y alojamiento para el cultivo de caracoles (*Pomacea flagellata*) en la estación de Biología de la Facultad de Ciencias Naturales y Matemática de la Universidad de EL Salvador. Sus resultados reflejaron que a medida crecían, había menos mortalidad, y que el mejor porcentaje de vivos se logró en el tratamiento de los recipientes plásticos con la densidad de siembra de un caracol por seis litros de agua. La sobrevivencia más alta fue 98.67% a los 121 días de edad. El promedio de sobrevivencia en general fue 97.95%.

MATERIALES Y METODOS

La investigación se llevó a cabo en una vivienda ubicada en la calle antigua al Carmen, municipio de San Salvador. Las coordenadas fueron: 13° 42' 37.11" N, 89 ° 13' 56.79" O, con altitud de 791 msnm.

La fase pre experimental tuvo una duración de veinticinco días. Primero se procedió a la marcación de los recipientes plásticos con capacidad de 45 litros, para posteriormente ubicarlos en cinco bloques con cinco repeticiones. Se les aplicó el equivalente a 600g /m³ de hidróxido de calcio con el fin de proporcionar un sustituto de calcio a los caracoles (Benavides *et al.* 2012).

Los caracoles estudiados fueron recolectados en el distrito de riego de Atiocoyo sur, jurisdicción de San Pablo Tacachico, departamento de La Libertad. Los caracoles se recolectaron de forma manual por los bordes del estanque acuícola, con ayuda de los empleados del lugar, colocandolos en bolsas plásticas con agua de la zona, las bolsas se oxigenaron, se amarraron y se transportaron al lugar del experimento.

Los caracoles se depositaron en los recipientes plásticos con capacidad de 45 litros, pero que contenían solo 36 litros (6 por caracol) (cuya capacidad es de 45 litros), que contenían 36 litros de agua (6 litros de agua por caracol). Todos los recipientes estuvieron bajo un techo de 4m². Los caracoles se ambientaron por nueve

días proporcionándoles a todos alimentos ad libitum su respectiva fuente alimenticia por tratamiento. Se utilizaron peces chimbolo (*Poecilia sphenops*), para combatir las larvas de zancudos (uno por recipiente). Los peces fueron recolectados en CENDEPESCA distrito de riego de Atiocoyo sur, Jurisdicción de San Pablo Tacachico, departamento de la Libertad.

La fase experimental se inició con la selección, el pesaje y la marcación de los caracoles. Se seleccionaron por peso y sexo a partir de 300 caracoles: 125 caracoles hembras con un peso entre 4.1g y 7.4g; y 25 machos con peso de 5.1g a 8.8 g. Se colocaron cinco hembras con un macho por repetición y tratamiento, de manera que en total se utilizaron 150 caracoles.

La toma de datos de los caracoles fue una vez por semana, de 6:00 am a 8:00am de la mañana y su alimentación se realizó al final de la tarde de 5:00pm a 6:30pm con el agua limpia, se ofreció 5g de alimento por caracol semanal (Benavides *et al.* 2012), en la cual, las diferentes fuentes alimenticias se pesaron y cortaron en trozos de 5cm para posteriormente distribuirlas sobre la superficie del agua de los recipientes plásticos. Los cambios de agua parciales se realizaron cada siete días (18 litros por tratamiento).

Los muestreos se llevaron a cabo cada siete días, se inició el 25 de julio del 2015 y se finalizó el 24 de octubre el 2015. En cada muestreo se anotaron los siguientes datos: peso de los caracoles, número de oviposiciones, volumen de ootecas, inicio de eclosión de ootecas, porcentaje de eclosión y sobrevivencia de caracoles nacidos a los 35 días.

El estudio se realizó bajo el diseño de bloques al azar, en el que se compararon cinco tratamientos, con cinco repeticiones para cada uno.

El análisis estadístico se realizó mediante la prueba de Diferencia Mínima Significativa (D.M.S) con un nivel de significancia $\alpha = 0.05$ a través del programa INFOSTAT versión 2015.

Para las variables número de posturas, volumen de ootecas y tiempo de eclosión se transformaron

los datos obtenidos mediante la fórmula raíz cuadrada. En las variables porcentaje de eclosión y sobrevivencia de caracoles a los 30 días de edad los datos se transformaron mediante la fórmula: Log base 10. La variable peso de caracoles se manejó sin datos transformados.

Se realizó un análisis bromatológico en el laboratorio de Química Agrícola de la Facultad de Ciencias Agronómicas de cada una de las fuentes alimenticias, así como también un análisis físico químico del agua en la que se desarrollaron los caracoles.

En el análisis bromatológico de las fuentes alimenticias en estudio se determinó el porcentaje de proteína, grasas, humedad, fibra cruda, cenizas y calcio.

Se evaluaron los siguientes parámetros físicos: turbidez del agua (disco de Secchi) y temperatura del agua (°C); así como también, los parámetros químicos: oxígeno disuelto (mg/dl), pH del agua y dureza del agua (mg/dl).

RESULTADOS Y DISCUSION

Peso de los caracoles.

Todos los tratamientos produjeron iguales efectos en la variable peso. El tratamiento a base de hoja de ojushte a pesar de no ser significativo, presentó los mejores resultados en la variable de peso, con una media igual a 8.16 ± 0.42 g, a las 14 semanas de haber iniciado el experimento, seguido de la hoja de chipilín, cáscara de banano, concentrado para tilapia y ninfa acuática.

La hoja de ojushte no ocasionó turbidez en el agua, a diferencia del concentrado de tilapia que posee un 30.47% de proteína cruda, que al tener contacto con el agua se degradó y causa alta turbidez de 3cm, esto impidió que el caracol, se alimentara de manera normal.

Los pesos de los caracoles se incrementaron con el tiempo en todos los tratamientos (figura 1).

Iriarte Rodríguez y Mendoza Carranza (2007), utilizaron hojas de chaya con carbonato de calcio en la alimentación de caracoles *Pomacea flagellata*, y obtuvieron un peso de 14.41g en un periodo de 16 semanas.

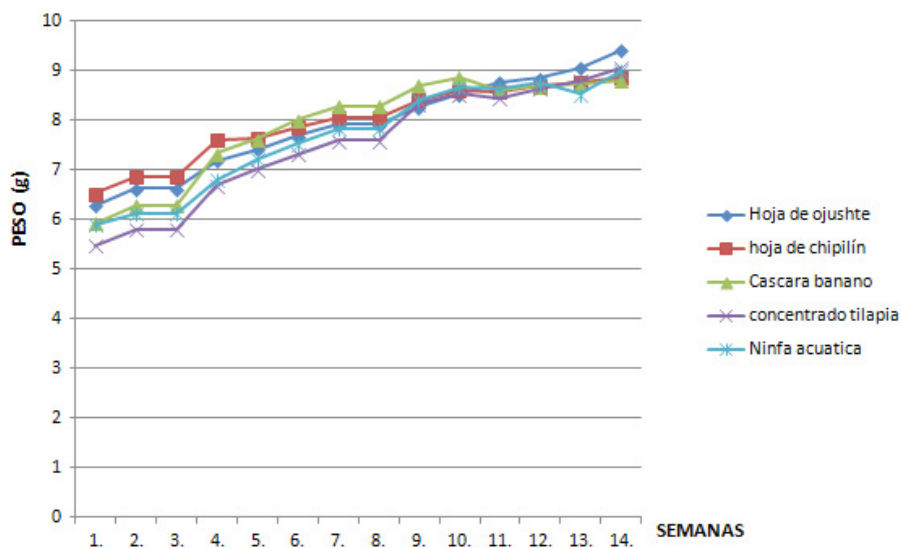


Figura 1. Peso de los caracoles con relación al tiempo.

Benavides *et al.* (2012), reportaron un peso de 13.5g alimentando con ninfa acuática (*Eichornia crassipes*), a los 177 días de edad con una densidad de un caracol por seis litros de agua.

En la presente investigación los pesos obtenidos a las 14 semanas fueron inferiores a los pesos de los autores anteriores por que el tiempo de evaluación de ellos fue mayor.

Número de oviposiciones.

Estadísticamente los tratamientos en estudio produjeron iguales efectos en la cantidad de oviposiciones. Todos presentaron por lo menos una oviposición, con un total de 9 oviposiciones al final del experimento (14 semanas) El tratamiento a base de hoja de ojushte obtuvo el mayor número de oviposiciones con 5 ootecas. La hoja de chipilín, cáscara de banano, concentrado para tilapia y ninfa acuática presentaron una oviposición respectivamente (Figura 2).

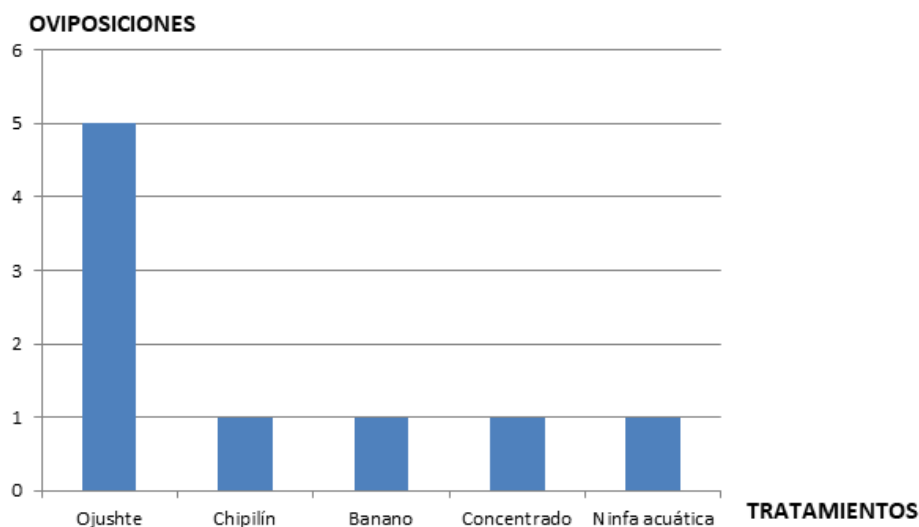


Figura 2. Oviposiciones por tratamientos.

Todas las ootecas fueron puestas por las noches, comprobándose la afirmación de Lobo Vargas (1986), y se demostró que los caracoles hembras ovopositan en horas nocturnas a una altura promedio de 30.48 cm. En este experimento fue de 32.00 ± 1.00 cm.

Amador del Ángel *et al.* (2006), obtuvo un total de 18 ootecas de caracol de agua dulce, *Pomacea flagellata* en un periodo de 44 días, estos datos fueron obtenidos de caracoles de mayor peso, dicho estudio supera en 9 oviposiciones al presente experimento.

Lo anterior, demuestra que los caracoles *Pomacea flagellata* a mayor peso, mayor será la cantidad de huevos que se produzcan y que los caracoles, aunque

sean jóvenes, estos son sexualmente activos, dicha aseveración es compartida por Lobo Vargas (1986), que observó caracoles jóvenes, sexualmente maduros y activos.

Volumen de ootecas.

Estadísticamente los tratamientos en estudio, presentaron iguales efectos sobre la variable volumen de ootecas, sin embargo, la hoja de ojushte obtuvo el mejor volumen de ootecas con una media igual a $21.63 \text{ cm}^3 \pm 11.66 \text{ cm}^3$, seguido de la ninfa acuática, concentrado de tilapia, hoja de chipilín, y cáscara de banano (Figura 3).

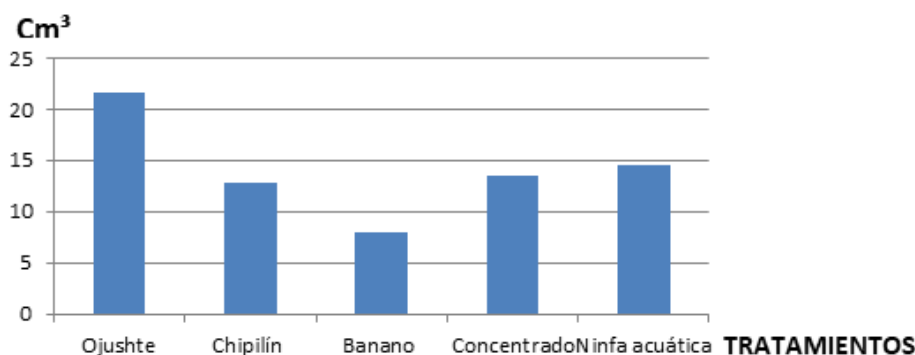


Figura 3. Volumen de ootecas por tratamientos.

Los resultados se encuentran dentro del rango de los datos obtenidos por Amador del Ángel *et al.* (2006), quien registró ootecas con un volumen mínimo de 2.53cm³ y máximo de 38.88cm³ por postura.

Inicio de eclosión

Estadísticamente los tratamientos en estudio, presentaron iguales efectos sobre la variable inicio de eclosión. Los caracoles en estudio a pesar de

tener pesos entre 4.1g y 9.2g, estos posiblemente se encontraban jóvenes y maduros sexualmente, lograron reproducirse y se obtuvo un total de 9 ootecas que eclosionaron.

El menor tiempo de eclosión en la presente investigación fue con la cáscara de banano, con un tiempo de 28.5 días, seguido de la hoja de chipilín, ninfa acuática, concentrado para tilapia y hoja de ojushte (Figura 4).

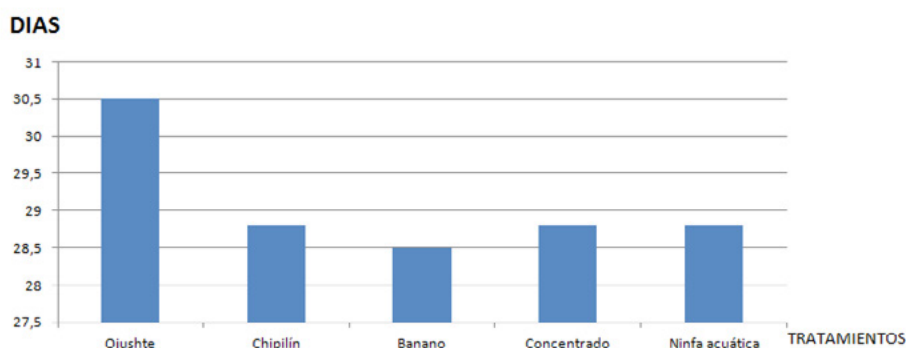


Figura 4. Eclosión por tratamientos.

Ozaeta Zetina (2002), mencionó que el tiempo de eclosión de las ootecas varían de 21 a 30 días. Estos resultados concuerdan con Lobo Vargas (1986), quien afirmó que las eclosiones de los huevos de caracol se dan entre los 20 a 25 días de ovopositar. La eclosión en el presente estudio ocurrió en mayor tiempo a los obtenidos por los autores anteriores posiblemente por la baja temperatura del agua ($19.69 \pm 0.09^{\circ}\text{C}$).

Porcentaje de eclosión.

Estadísticamente los tratamientos en estudio, presentaron iguales efectos en el porcentaje de eclosión. El porcentaje de eclosión a los 35 días post oviposición fue alto para todos los tratamientos.

El tratamiento a base de hoja de ojushte presentó los mejores resultados sobre la variable porcentaje de eclosión, este alcanzó un promedio de $89.06 \pm 5.70\%$ de eclosión seguidos del concentrado de tilapia, ninfa acuática, hoja de chipilín y cáscara de banano. (Figura 5)

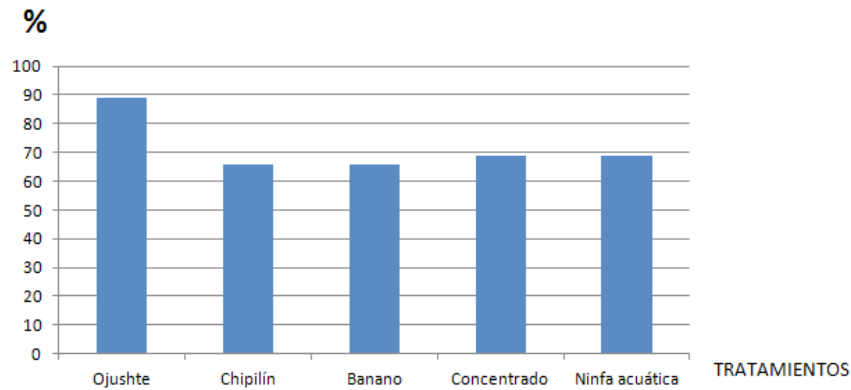


Figura 5. Porcentaje de eclosión por tratamientos.

El porcentaje más bajo lo obtuvo el tratamiento a base de cáscara de banano con una media 66%, seguido de la hoja de chipilín, concentrado para tilapia y ninfa acuática. Estos valores son similares a los obtenidos por Amador del Ángel (2006), quien reportó un 80 a 90 % de eclosión. Santos Soto (1999), obtuvo el porcentaje más bajo de eclosión de 10% debido a la influencia de la temperatura del mes de febrero de 1999 en México.

Sobrevivencia de los caracoles a los 35 días de edad.

Estadísticamente los tratamientos en estudio produjeron iguales efectos en la variable sobrevivencia de caracoles a los 35 días de edad. En general, los valores de sobrevivencia obtenidos fueron moderados en todos los tratamientos. El mayor porcentaje de sobrevivencia promedio se presentó en el tratamiento a base de hoja de ojushte con una media igual a $89.13 \pm 5.45\%$, seguido de la ninfa acuática, concentrado para tilapia, cáscara de banano, y hoja de chipilín. (Figura 6).

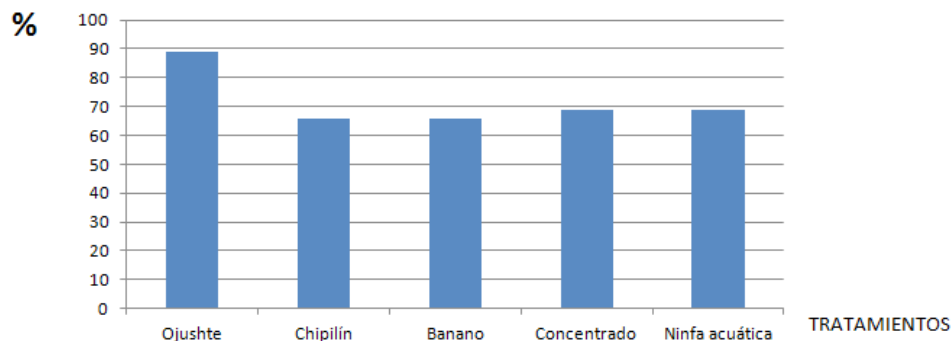


Figura 6. Sobrevivencia promedio de caracoles a los 35 días de edad por tratamiento.

Iriarte (2007), presentó valores bajos de sobrevivencia al utilizar como fuente de proteína iniciador de tilapia 32% de proteína, alimento de pollo para engorde 20% de proteína y hojas de chaya (*C. chayamansa*) 8.25% de proteína, logró una sobrevivencia de 45.3%, 47.25% y 62.1% en las crías de caracol *Pomacea flagellata*. Ozaeta Zetina (2002), alimentó con ninfa acuática a razón de 5g, 2.5g 7.5g y obtuvo una sobrevivencia de crías de caracol a los 90 días de 76%, 68% y 56%,

respectivamente los cuales fueron inferiores a la presente investigación.

PARÁMETROS FÍSICO QUÍMICOS

Parámetros físicos

Turbidez del agua

El tratamiento que más turbidez alcanzó fue el concentrado para tilapia con un promedio 3.14 ± 0.09

cm, seguido de cáscara de banano con 6.06 ± 0.43 cm, hoja de chipilín con 4.45 ± 0.17 cm, ninfa acuática 81.16 ± 1.45 cm y hoja de ojushte con 82.66 ± 2.77 cm, este último el que menos turbidez ocasionó en el agua.

Ozaeta Zetina (2002) registró una turbidez entre 9 cm y 20 cm, por lo que se puede afirmar que hubo mayor turbidez al alimentar con concentrado para tilapia, cáscara de banano y hoja de chipilín al comparar contra los datos de dicho autor; pero la turbidez fue menor al alimentar con ninfa acuática y hoja de ojushte, lo que indicó que estas fuentes son mejores posiblemente porque habría menor cantidad de microorganismos patógenos que se desarrollarían en el agua.

Temperatura del agua.

Debido a la época lluviosa hubo bajas temperaturas a tempranas horas del día. Para todos los tratamientos. La temperatura del agua promedio fue 19.69 ± 0.09 °C. Los datos obtenidos son inferiores a los aportados por Reyes Santizo (1997), quien registró 30 °C y Amador del Ángel obtuvo 29 °C. Por su parte, Benavidez *et al.* (2012) registraron 19.7°C, un dato similar al obtenido en la investigación. Rojas Brenes (1988), determinó que la temperatura ambiental óptima para caracoles de agua dulce oscila entre 22 y 27 °C, estos datos son superiores a los obtenidos en este experimento.

Iluminación.

La iluminación en general para todos los tratamientos a los 90 días fue de 1032 LUX con un 46% de humedad.

Parámetros Químicos.

Oxígeno disuelto: Se obtuvo 6.27 mg/L, lo que significa que el nivel de oxígeno fue levemente superior a los parámetros normales del nivel de oxígeno disuelto en el agua, que va de 1 a 4 mg/L (Ozaeta Zetina 2002).

pH del agua: el valor obtenido fue 6.9. Dicho dato está dentro del rango propuesto por Rojas Brenes (1988), que indicó que el pH debe estar en el rango intermedio de 6 y 9.

Benavidez *et al.* (2012), obtuvieron un pH 7.24 en recipientes plásticos y 7.03 en tanques de asbesto, estos datos son cercanos a los obtenidos en la presente investigación.

Dureza del agua: se obtuvo 295.3799 mg/L. Rojas Brenes (1988) citado por Ozaeta Zetina (2002), recomienda que la dureza del agua debe estar dentro del rango de 80 a 130 mg/L para proporcionar un buen hábitat al caracol *Pomacea flagellata* para la formación de su concha. Los datos obtenidos superan el rango recomendado por la adición del hidróxido de calcio, pero son favorables para el desarrollo de los caracoles.

PARÁMETROS BROMATOLÓGICOS.

Los niveles de proteína cruda de las muestras evaluadas de hojas de ojushte en este experimento fueron de 16.78 %, dichos datos se ajustan a los propuestos por Mendoza y Rivera (2014), quienes mencionan que la hoja de ojushte posee 15.5% de proteína.

El nivel de proteína cruda más alto fue dado por el tratamiento a base de hoja de chipilín con un 39.01%, seguido del concentrado de tilapia con un 30.47%, ninfa acuática con 23.13%, hoja de ojushte con 16.78% y cáscara de banano con 6.52%.

Los caracoles se alimentaron tanto en el fondo de los recipientes, como en la superficie. Todas las fuentes alimenticias presentaron baja flotabilidad una vez distribuidas en los recipientes, por lo que los caracoles no obtuvieron problemas al consumirlos.

Las humedades totales de las fuentes proporcionadas fueron: 11.91% para la cáscara de banano, 11.07 en la hoja de chipilín, 10.91% correspondiente a la hoja de ojushte, 7.06% a la ninfa acuática y un 1.06% para el concentrado de tilapia.

El mayor porcentaje de cenizas fue para el tratamiento a base de ninfa acuática representando un 21.36%, seguido por la cáscara de guineo con 15.86%, la hoja de ojushte 14.52%, hoja de chipilín 8.57 y finalmente el concentrado de tilapia 6.08%.

La ninfa acuática proporcionó el porcentaje más alto de extracto etéreo con un 6.98%, seguido de la hoja de chipilín con un 6.39%. La hoja de ojushte y el concentrado de tilapia obtuvieron un 4.94% y 3.65% respectivamente. El porcentaje más bajo lo obtuvo la cáscara de banano con un 2.14%.

La fibra cruda (%) obtenida por los diferentes tratamientos fueron: La hoja de ojushte con 21.23, ninfa acuática 15.45, hoja de chipilín 14.64, cáscara de banano 12.8 y concentrado de tilapia 4.03.

El nivel más alto de carbohidratos (%) obtenido lo proporcionó la cáscara de banano con 62.72 seguido del concentrado de tilapia con 55.05, la hoja de ojushte 42.53, ninfa acuática 33.08 y hoja de chipilín 31.09.

García (1992), demostró que la cría de caracol necesita 14.5% de proteína bruta, 2.50 Mcal/kg de energía metabolizable y 5% de fibra cruda. Mientras que el caracol adulto requiere 12.7% de proteína bruta, 2.80 Mcal/kg de energía metabolizable y un 5.8% de fibra cruda. Al comparar estos datos con los resultados obtenidos al final del experimento, se puede afirmar que todas las fuentes alimenticias proporcionadas cubren los requerimientos para la nutrición de caracoles *Pomacea flagellata*, a excepción de la cáscara de banano por su bajo porcentaje de proteína.

Al comparar la proteína de la hoja de ojushte (16.78%) con la de la cáscara de banano (6.52), se demuestra que el caracol obtiene mejor desarrollo reproductivo con la proteína de la hoja de ojushte y que esta se encuentra levemente incrementada al rango descrito por García (1992); sin embargo, la cáscara de banano posee un valor por abajo del rango mencionado anteriormente, lo que dificulta el desarrollo del caracol en su reproducción.

El análisis bromatológico de la ninfa acuática (*Eichornia crassipes*) obtuvo como resultado 23.13% de proteína cruda, superior a los resultados de Benavides *et al.* (2012), que reportaron 17.77% de proteína cruda. Ozaeta Zetina obtuvo 25.33 % de proteína cruda, este es el valor más alto obtenido en este experimento. Las diferencias en el porcentaje de proteínas de la ninfa

acuática (*Eichornia crassipes*) presentada en este experimento posiblemente pudo haber sido afectada por factores biológicos y ambientales que impiden el desarrollo de la planta.

Al comparar la fibra cruda de las diferentes fuentes alimenticias con la proteína de estas, se puede afirmar que la fibra cruda probablemente solo ayudó a los procesos digestivos del caracol y no a la reproducción de estos, ya que la fibra cruda no aporta nutrientes debido a que no se digiere en los intestinos y solo ayuda al peristaltismo. En cambio, la proteína aporta valor nutricional para el metabolismo de los seres vivos y ayuda a la obtención de masa muscular por lo que la proteína posiblemente si influyó en la reproducción de los caracoles.

COMPARACIÓN DE COSTOS

Al comparar los costos de las fuentes alimenticias incluidos los costos de adquisición de cada materia y mano de obra (día hombre), se determinó que el tratamiento a base de ninfa acuática y hoja de ojushte obtuvieron los menores costos de producción en la reproducción de caracoles de *Pomacea flagellata* (Cuadro 1).

CONCLUSIONES

Estadísticamente los tratamientos produjeron iguales efectos sobre la variable peso, sin embargo, el tratamiento a base de hoja de ojushte presentó los mayores pesos.

Todos los tratamientos en estudio presentaron oviposiciones. A pesar de que no hubo diferencia significativa, el tratamiento a base de hoja de ojushte presentó los mejores resultados en el inicio de oviposiciones.

No hubo significancia estadística en volumen de ootecas. El mayor volumen de ootecas correspondió a la hoja de ojushte y el menor volumen para la cáscara de banano.

Estadísticamente los caracoles en estudio produjeron iguales efectos en la variable tiempo de eclosión.

Cuadro 1. Comparación de costos de las fuentes alimenticias.

Detalle	Hoja de Ojushte	Hoja de chipilín	Cáscara de banano	Concentrado para tilapia	Ninfa acuática
Peso promedio(g)	8.14	8.06	8.00	7.62	7.62
Caracoles (\$/ Kg)	0.90	0.86	0.86	0.83	0.83
Costo del alimento (0.5 Kg)	1.15	10.41	11.57	37.94	0.46
Recipientes plásticos (451t)	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00
Hidróxido de calcio	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Agua \$20.00 {30m'}	0.42	0.42	0.042	0.42	0.42
Mano de obra (día hombre)	14.56	14.56	14.56	14.56	14.56
Total (\$)	65.18	74.32	75.42	101.38	63.97

Sin embargo, la cáscara de banano obtuvo el menor tiempo de eclosión.

No hubo diferencia significativa en la variable sobrevivencia de caracoles a los 35 días de edad, sin embargo, la hoja de ojushte obtuvo el mayor porcentaje de sobrevivencia de caracoles.

La hoja de ojushte y la ninfa acuática presentaron menos turbidez en el agua.

En la comparación de costos se observó que la hoja de ojushte y ninfa acuática presentaron los menores costos.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación se realizó con financiamiento de la Secretaría de Investigaciones Científicas de la Universidad de El Salvador (SIC-UES). Además, fue importante la colaboración del Técnico Acuicola Pedro Coreas y el asistente Osmaro Sibrián de la Estación Acuicola de Atiocoyo Sur de CENDEPESCA para la colecta y donación de caracoles de agua dulce.

BIBLIOGRAFÍA

Amador del Ángel, L.; Mugartegui Esquiliano, J.; Chin Caña, F.; Arcos Pérez, A.; Cabrera Rodríguez, P. 2006. Características del desove del Caracol de Agua Dulce *Pomacea flagellata livescens*

(Reeve, 1986) en ambiente controlado. (tesis). Facultad de Ciencias Pesqueras, Universidad Autónoma del Carmen (México) p.135. (en línea). Consultado 12 de diciembre del 2015. Disponible en: http://www.academia.edu/2568234/Caracter%C3%ADsticas_del_desove_del_caracol_de_agua_dulce_Pomacea_flagellata_livescens_Reeve_1986_en_ambiente_controlado

Argueta de Enríquez, A. N. 1995. Reproducción del caracol de agua dulce *Pomacea* sp. En la estación piscícola Santa Cruz Porrillo. Tesis. Lic. S.V. Universidad de El Salvador. San Vicente, El Salvador P120.

Barneaud Castro, J. 1999. Evaluación de nitrógeno y material orgánico sobre el rendimiento de biomasa en el cultivo de chipilín (*Crotalaria* spp). Tesis. Ing. Agr. San Carlos Guatemala. San Lorenzo Suchitepeque. USAC. P125

Benavides, C.; Piche, M.; Portillo Segovia, N. 2012. Evaluación Bio-Economica de alojamiento y densidad de siembra para el cultivo de caracoles (*Pomacea flagellata*). Tesis. Lic. MVZ. Universidad de El Salvador. 126 P.

Cordero, J.; Boshier, D.H.; Barrance, A.; Beer, J.; Boshier, D.H.; Chamberlain, J.; Cordero, J.; Detlefsen, G.; Finegan, B.; Galloway, G.; Gómez, M.; Gordon, J.; Hands, M.; Hellin, J.; Hughes, C.; Ibrahim, M.; Kass, D.; Leakey, R.; Mesén, F.; Montero, M.; Rivas,

- C.; Somarriba, E.; Stewart, J.; Pennington, T. 2003. Árboles de Centroamérica: un manual para extensionistas. (en línea). Consultado 17 jun. 2015. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_nlinks&ref=000068&pid=S0120-0739201400020000600008&lng=en
- García Valenzuela, B. 2014. Ficha técnica de Cargill. (beatriz1grupomallo@gmail.com). Grupo Mallo S.A de C.V. S.S. El Salvador. P.25
- García, E. 1992. Nutrición de caracoles. INTA. Cañuela. (en línea). Buenos Aires. Argentina. Disponible en www.biblioteca.org.ar/libros/210227.pdf. Consultado 25 febrero del 2015. 90-94p.
- Iriarte Rodríguez, F.V.; Mendoza Carranza. M. 2007. Validación del cultivo semi-intensivo del caracol tote (*Pomacea flagellata*) en el trópico húmedo. México, DARMA, Ecosur. (en línea) consultado 23 Feb 2015. Disponible en www.revistaaquatic.com/aquatic/art.asp P16-17.
- Intriago Flor, G.; Paz Mejilla, S. 2000. Ensilaje de cáscara de banano maduro con microorganismos eficaces como alternativa de suplemento para ganado bovino. Tesis. EARTH. Guácimo. CR. (en línea) consultado el 19 de febrero del 2015. Disponible en http://www.em-la.com/archivos-de-usuario/base_datos/ensilaje_cascara_banano.pdf.
- Lobo Vargas, X.M. 1986. Estudio de algunos aspectos de la biología del molusco *Pomacea flagellata*. Tesis. Lic. Biología. Escuela de Biología. Universidad de Costa Rica. CR. P96.
- Mendoza, M.; Rivera, R. 2014. Elaboración de harina a base de semilla de árbol de pan (*Artocarpus altilis*) y semilla de árbol de ojushte (*Brosimum alicastrum*) como un enriquecedor por su alto contenido nutricional. Tesis. Universidad Dr. José Matías Delgado. Facultad de Agricultura E Investigacion Agrícola. El Salvador. (en línea). Consultado el 15 de Junio del 2015. Disponible en <http://webquery.ujmd.edu.sv/siab/bvirtual/BIBLIOTECA%20VIRTUAL/TESIS/04/ALI/0002011-ADTESOE.pdf> P71.
- Ozaeta Zetina, M.A. 2002. Evaluación del efecto de tres niveles de alimentación con incaparina, y ninfa acuática (*Eihornia crassipes*) en el crecimiento del caracol (*Pomacea* spp) en condiciones controladas. Tesis. Ing. Guatemala, Gt. Universidad de Guatemala. 68 p.
- Reyes Santizo, J. G. 1997. Eficiencia reproductiva en caracoles de agua dulce (*Pomacea* sp.) en tres diferentes pesos. Tesis. Universidad de Guatemala, p. 6-10.
- Rojas Brenes, D. 1988. Determinación de algunos metales ecotóxicos y hábitos alimenticios del caracol *Pomacea* sp. Del lago de Amatitlán. (tesis). CEMA. Guatemala. P52-54



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

Artículo de investigación

Análisis de la deformación del volcán de San Miguel mediante técnica GPS posterior al proceso eruptivo iniciado en diciembre de 2013

Analysis of the deformation of the San Miguel volcano using GPS technique after the eruptive process that began in December 2013

Hernández-Castillo, D.A.¹, Hernández-de la Cruz, A.², Hernández-Martínez, M.A.², López-Landaverde, R.A.², Sulli, A.³ DeMets, C.⁴

Correspondencia:

ahernandez@marn.gob.sv
agustin.hernandez@ues.edu.sv
miguel.hernandez@ues.edu.sv

Presentado:

12 de noviembre de 2020

Aceptado:

20 de noviembre de 2020

- 1 Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, El Salvador.. Estudiante Escuela de Posgrado y Educación Continua, Facultad de Ciencias Agronómicas UES.
- 2 Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias Agronómicas.
- 3 Universidad de Palermo, Italia.
- 4 Universidad de Wisconsin, Estados Unidos.

RESUMEN

El volcán de San Miguel es el más activo de El Salvador. Después de la erupción del 29 de diciembre de 2013 y durante los cuatro primeros meses de 2014, el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales de El Salvador (MARN) y el Instituto Nacional de Geofísica y Vulcanología de Italia (INGV), reforzaron el monitoreo en la zona. Un legado de esta iniciativa fue el establecimiento de una red para medir la deformación del terreno con la técnica GPS. No obstante, el tiempo de observación fue muy corto para establecer la línea base de deformación del volcán. Esta investigación fue para alcanzar este objetivo. La línea de tiempo fue extendida por medio de mediciones adicionales en el área proximal del volcán. Seis de los diez bancos de marca instalados por el MARN-INGV fueron observados de nuevo, para ello se utilizaron receptores de GPS Trimble de doble frecuencia, que colectaron datos en forma continua y por campaña durante el 2015. Se utilizó el Servicio Automático Posicionamiento Preciso (APPS), del Sistema Diferencial Global GPS (GDGPS) del Laboratorio de Propulsión Jet (JPL) de la NASA, para obtener las coordenadas geocéntricas precisas. Finalmente, fueron calculados los campos de velocidades y los desplazamientos reducidos para el volcán. Los resultados muestran una deformación permanente de 15 mm en la cara del Norte del volcán después de dos períodos intensos de actividad volcánica, probablemente asociados con procesos de inyección magmática.

Palabras Clave: deformación volcánica, monitoreo volcánico, volcán de San Miguel.

ABSTRACT

The San Miguel volcano is the most active in El Salvador. After the eruption of December 29th of 2013 and during the first four months of 2014, the Ministry of Environment and Natural Resources of El Salvador (MARN) and the National Institute of Geophysics and Volcanology of Italy (INGV), reinforced the monitoring in the zone. A legacy of this initiative was the establishment of a network to measure land deformation with GPS technique. However, the time of observation was too short to establish the deformation baseline of the volcano. The aim of the present study was to achieve this goal. The timeline

was extended through additional measurements in the proximal area of the volcano. Six of the ten brand banks installed by MARN-INGV were observed again, for this purpose, double-frequency Trimble GPS receivers were used, which collected data continuously and by campaign during 2015. The Automatic Precise Positioning Service (APPS) of the GPS global differential system (GDGPS) from NASA's Jet Propulsion Laboratory (JPL) was used to obtain precise geocentric coordinates. Finally, the velocity fields and the reduced displacements for the volcano were calculated. The results showed a permanent deformation of 15 mm on the north face of the volcano after two intense periods of volcanic activity, probably associated with magmatic injection processes.

Key words: volcanic deformation, volcanic monitoring, San Miguel volcano.

INTRODUCCIÓN.

El monitoreo de un volcán activo exige la implementación de la mayor cantidad de técnicas de vigilancia, de tal forma que ante un escenario pre-eruptivo se cuente con información útil para el establecimiento de las diferentes etapas de alerta, con el propósito de salvaguardar la vida de las personas que habitan en sus cercanías. Las técnicas que comúnmente se emplean comprenden: observaciones visuales, monitoreo sísmico, análisis geoquímico de aguas y gases, así como la medición de la deformación del terreno.

En lo que respecta a la medición de deformación del terreno, recientemente las técnicas empleadas consideran el análisis de imágenes de satélite, técnicas de teledetección tales como la Interferometría de Radar (InSAR), e incluso el empleo de la Geodesia Espacial para determinar el posicionamiento global de puntos de control en tierra, a través de las constelaciones de satélites tales como NAVSTAR-GPS (**NAV**igation **Sy**stem with **T**ime and **R**anging **G**lobal **P**ositioning **Sy**stem), y GLONASS (**G**lobal'naya **N**avigatsionnaya **S**putnikovaya **S**istema), administradas por los Estados Unidos y Rusia, respectivamente.

El posicionamiento Global a través de la técnica GPS (**G**lobal **P**ositioning **Sy**stem), aplicado a la deformación de corteza terrestre, pretende determinar con precisión milimétrica el comportamiento geodinámico de la superficie del terreno, basado en la medición de pseudo-distancias desde los satélites de la constelación espacial hasta los puntos de control.

Es importante recalcar que la actividad volcánica

normalmente es acompañada por deformaciones del terreno en la estructura principal del volcán o en sus alrededores, las cuales pueden ser provocadas por movimientos internos de fluidos como desgasificaciones o ascensos de magma. En tal sentido, resulta importante determinar el momento en el que estos procesos generan estados de esfuerzos que provocan la inflación o hinchamiento del terreno, o en su defecto la deflación o hundimiento del mismo.

En este contexto, se planteó la importancia de investigar la deformación en el Volcán de San Miguel por medio de GPS, dados los índices de actividad mostrados después de la erupción del 29 de diciembre de 2013, como una contribución a la reducción del riesgo volcánico en la zona.

La investigación de campo se desarrolló desde febrero de 2015 hasta marzo de 2016, a través de mediciones discretas por campañas y mediciones continuas, en siete sitios ubicados en la zona proximal del volcán (a una distancia no mayor de 8.5 km a partir del cráter central). Seis de los siete sitios corresponden a bancos de marcas instalados por ING-V-MARN a inicios de 2014; y el otro punto es la estación de medición continua, ubicada en el Cantón Piedra Azul (código VMIG), ubicada en el flanco Suroeste del volcán.

Asimismo, el MARN facilitó los datos de GPS colectados durante el periodo enero-abril de 2014, en el marco de la cooperación MARN-INGV. Bonforte et al. (2016), cita lo referente al comportamiento de deformación del Volcán de San Miguel en este periodo, en el artículo "The unrest of S. Miguel volcano (El Salvador, CA): installation of the monitoring network and observed volcano-tectonic ground deformation". Adicionalmente, el MARN proporcionó

la información de GPS registrada de mayo a diciembre de 2014 en los sitios VMIG y PATI. Este último sitio corresponde al banco de marca ubicado en el Patio de Finca Santa Isabel, en el Flanco Norte del volcán.

Lo anterior facilitó procesar datos colectados por más de dos años, lo que permitió un análisis más robusto al extender la línea de tiempo del comportamiento de deformación del volcán.

Durante las etapas de procesamiento y análisis, se determinaron de forma precisa, las posiciones absolutas diarias de cada sitio, esto se logró a través de un post-procesamiento con las herramientas del Servicio Automático Posicionamiento Preciso (APPS), del Sistema Diferencial Global GPS (GDGPS) del Laboratorio de Propulsión Jet (JPL) de la NASA (National Aeronautics and Space Administration de los Estados Unidos de América). De acuerdo con DeMets (2014), con dicha metodología se obtienen precisiones del orden de 2 a 5 mm en la ubicación de la posición en estas latitudes.

La línea base de deformación de dicho volcán está definida a través del campo de velocidades y de los desplazamientos reducidos en cada sitio de la red, obtenidos en este trabajo.

Finalmente, se presenta un apartado de comparación de los resultados de deformación con otras técnicas de monitoreo volcánico. El MARN proporcionó lo referente a las mediciones de RSAM (Real-time Seismic Amplitude Measurement), flujo de dióxido de Azufre (SO₂), fechas de erupciones y sismicidad del volcán de San Miguel posterior al 29 de diciembre de 2013. El Grupo de Investigación Vulcanológica de la Universidad de El Salvador (GIV-UES) proporcionó la información de flujo de dióxido de carbono (CO₂) para el periodo comprendido entre enero y diciembre de 2015.

GEOLÓGIA Y TECTÓNICA DEL VOLCÁN DE SAN MIGUEL.

De acuerdo con Escobar *et al.* (2004), el volcán de San Miguel geológicamente pertenece al periodo

cuaternario (probablemente con una edad de unos 50,000 años, de la época del pleistoceno), en donde predominan rocas volcánicas de composición basáltica y andesítica. No obstante, su estratigrafía se intercala con depósitos plinianos ácidos, de tipo dacíticos y riodacíticos, del volcán Pacaya. Los cuatro flancos del volcán muestran la presencia de flujos de lava y escoria de composición máfica que fueron emitidos a través de fisuras laterales (figura 1).

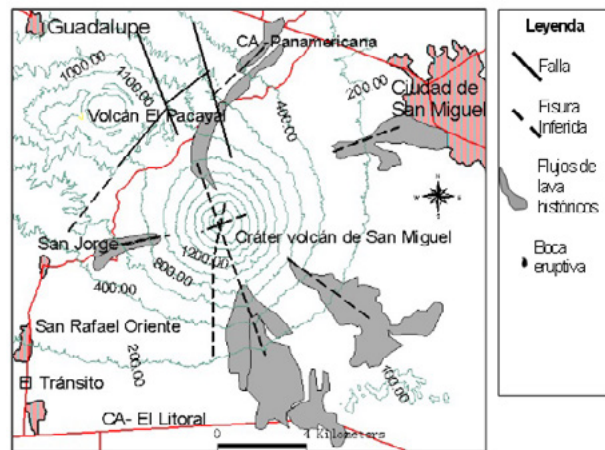


Figura 1. Flujos de lava emitidos a través de fisuras laterales (Escobar *et al.* 2004).

Tectónicamente, dicho volcán se ubica en el segmento oriental del Graben Central del país y es atravesado por una serie de fisuras con orientación predominante NW-SE. Al norte de la estructura volcánica se ubica el segmento de falla denominado Zona de Falla de El Salvador (ZFES), el cual delimita el segmento de antearco que interactúa directamente con la Placa de Cocos (Bonforte *et al.* 2016). Este segmento de corteza muestra un desplazamiento hacia el Noroeste con una velocidad promedio entre unos 12 y 14 mm por año (DeMets 2001, Staller 2014) (Figura 2).

La geología superficial del volcán de San Miguel, basada en el mapa geológico de la república de El Salvador, en escala 1:100000, sugiere que la mayor parte de la estructura pertenece a la Formación San Salvador, predominando rocas efusivas básicas intermedias y piroclastitas subordinadas. En el cráter central predominan escorias, tobas de lapilli y cinder (figura 3).

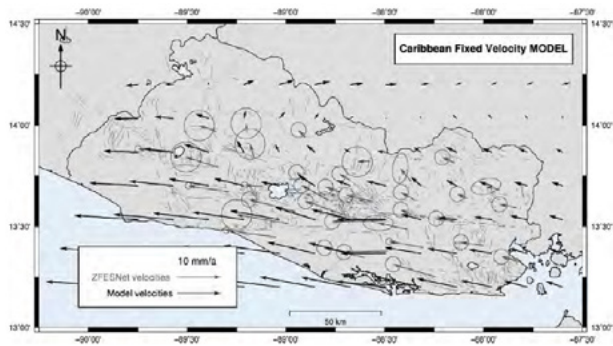


Figura 2. Mapa de velocidades relativa a la placa del Caribe Tomado de Staller (2014).

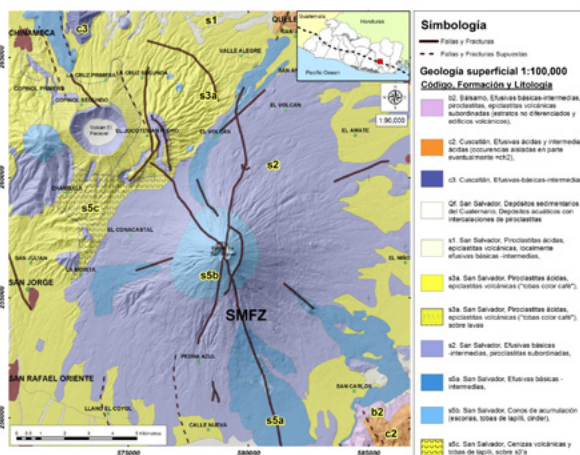


Figura 3. Geología superficial de la zona del volcán de San Miguel. Sistema de Proyección Cónica Conformal de Lambert.

El mapa también muestra los alineamientos de falla existentes en la estructura volcánica, haciendo énfasis en el segmento identificado en el estudio de Schiek (2008) como la Zona de Fractura de San Miguel (SMFZ, por sus siglas en inglés), el cual sugiere que la actividad volcánica principal se concentra a lo largo de dicho alineamiento.

HISTORIA ERUPTIVA DEL VOLCÁN DE SAN MIGUEL

Registro histórico

En los últimos 1,500 años, el volcán de San Miguel ha experimentado al menos 25 erupciones pequeñas, convirtiéndolo en el más activo de la cadena volcánica salvadoreña. Desde 1867 se han registrado al menos 15 erupciones explosivas a través del conducto central.

El Índice de Explosividad Volcánica (VEI) estimada para ese periodo ha oscilado entre 1 y 2 (Schiek 2008), caracterizándose por ser del tipo Estromboliano. Con el propósito de ejemplificar el grado de actividad de dicho volcán, el cuadro 1 muestra erupciones relevantes desde 1699 hasta diciembre de 2013, contenidas en la base de datos del MARN.

Cuadro 1. Historia de las erupciones del volcán de San Miguel (MARN 2014b).

Año	Evento
2013	Erupción a las 10:30 am, fase más intensa termina 13:00. Columna eruptiva de 9.7 km sobre el nivel del mar.
2002	Pequeña explosión con emisión de pluma de gases de unos 200 metros de altura y cenizas hacia el noroeste.
1977	Fuente de lava en el interior del cráter (se estima un volumen de $1.4 \times 10^6 \text{ m}^3$) y formación de un cono de escorias dentro del cráter.
1976	Emisión de un flujo de lava que rebasó el cráter central. La actividad pudo percibirse por un periodo de 10 días.
1931	Erupción de gases que se prolonga hasta el mes de junio de ese mismo año. El cráter aparece incandescente durante la noche.
1884	Erupción de cenizas. Varios días de duración. Extrusión de lava dentro del cráter. Formación de cono de escorias.
1867	Fuerte erupción de ceniza acompañada de flujo de lava en dirección suroeste.
1855	Erupción fisural a media altura del cono volcánico en dirección Sur-Sureste (SSE) durante 15 días.
1844	Dos días con retumbos. Emisión de una colada basáltica por bocas eruptivas situadas en el flanco norte (15° al Noroeste) a 1,120 m.
1819	Colada basáltica por grieta lateral hacia el Sur-Sureste (SSE). Afecta la carretera a Usulután que queda intranquitable.
1787	Erupción fisural de media altura del flanco norte y de tres bocas en la falda sur del volcán.
1762	Colada basáltica hacia el NE. Erupción por grieta lateral en dirección a San Miguel
1699	Primera erupción histórica. Emisión de una colada de lava hacia el Sur-Sureste (SSE) desde una boca abierta a mitad de la ladera.

Crisis reciente

El domingo 29 de diciembre de 2013 a las 10:30 am, el volcán de San Miguel entró en erupción; se observó, una columna de gases y cenizas que se elevó 7.6 kilómetros y se dispersó predominantemente hacia el occidente del volcán (figura 4).



Figura 4. Proceso eruptivo del 29 de diciembre de 2013 (MARN 2014a).

Este evento depositó cenizas, detritos y bloques en la zona media y alta del volcán, cuyos espesores oscilaron desde unos pocos centímetros hasta varios metros, cubrieron las laderas y rellenaron los cauces de los drenajes del volcán (MARN 2014a.) (Figura 5). La erupción está categorizada por haber ocurrido sin mostrar cambios significativos en los parámetros de monitoreo que el MARN vigila en dicha estructura volcánica (concentración de SO₂, sismicidad, termografía, entre otras).



Figura 5. Depósito de caída en la parte alta del volcán de San Miguel, posterior a la erupción del 29 de diciembre de 2013 (MARN 2014a).

El miércoles 12 de febrero de 2014 a las 4:44 pm (45 días después de la erupción del 29 de diciembre de 2013), el volcán lanzó una pequeña erupción de gases y cenizas con una altura aproximada de 500 m sobre el cráter. Este episodio eruptivo tuvo lugar durante 10 minutos. La pluma se dirigió hacia el Este-Sureste y no se reportó caída de ceniza en zonas pobladas cercanas, ni tampoco daños (figura 6).

De acuerdo con información proporcionada por el Área de Vulcanología del Observatorio Ambiental del MARN, posterior al episodio del 12 de febrero de 2014, se observaron emisiones de cenizas el 12

de abril, 10 y 11 de mayo, 4-5 y 28-29-30 de junio y durante la semana del 23 al 28 de julio de 2014; 26 de enero de 2015, 13 de agosto de 2015, y la última reportada el 12 de enero de 2016 (Figura 7).



Figura 6. Proceso eruptivo del 12 de febrero de 2014 (MARN 2014a).

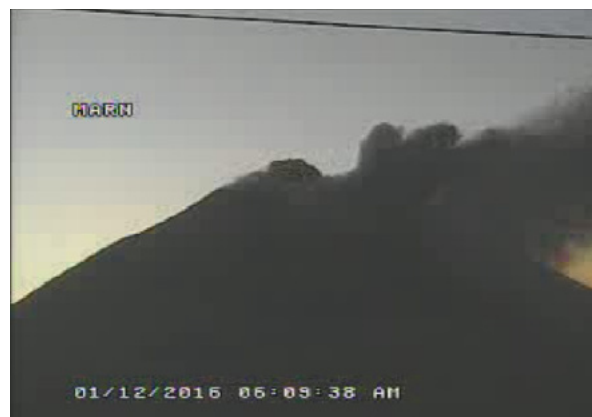


Figura 7. Erupción de ceniza registrada el 12 de enero de 2016, captada por cámara instalada en Cerro Pacayal (MARN 2016a). El episodio eruptivo tuvo una duración aproximada de 11 horas

ANTECEDENTES DE ESTUDIOS DE DEFORMACIÓN REALIZADOS EN EL SALVADOR Y EN LA ZONA DEL VOLCÁN DE SAN MIGUEL.

Los trabajos de medición de deformación de la corteza terrestre en El Salvador iniciaron formalmente en el año 2003. Lyon-Caen *et al.* (2003), citada por Staller (2014), inició los estudios de deformación ese año, midió con GPS en tres sitios del occidente del país que formaban parte de una red cuyo objetivo era analizar la deformación del sistema de fallas Motagua-Polochic, asociados al contacto de placas Norteamérica-Caribe. Luego los puntos fueron medidos nuevamente en el 2006.

En el año 2004, Charles DeMets, de la Universidad de Wisconsin-Madison, impulsó los estudios de deformación de la corteza terrestre en El Salvador con

el establecimiento de una red de control compuesta por trece bancos de marca distribuidos en todo el país. Esta labor se desarrolló desde el 2004 hasta el 2009, midiendo a través del método estático, año con año, por periodos de una semana en cada sitio, y fue complementada con la instalación de cuatro estaciones de medición continúa ubicadas en las cercanías de los volcanes de Santa Ana, San Salvador y San Miguel, y en el Aeropuerto Internacional de El Salvador.

La información colectada por estas campañas ha sido retomada por Alvarado *et al.* (2011), Correa-Mora *et al.* (2009), Rodríguez *et al.* (2009) y Graham *et al.* (2012), para estudios específicos de tectónica, tales como el movimiento y deformación del antearco volcánico entre El Salvador y Nicaragua; la estimación del acople en la zona de subducción y las fallas en los arcos volcánicos de El Salvador, Honduras y Nicaragua; la deformación de la corteza en el norte de Centroamérica; entre otros. Se empleó el programa GIPSY-OASIS II (GPS Inferred Positioning SYstem-Orbit Analysis and Simulation Software, por sus siglas en inglés), desarrollado por el Jet Propulsion Laboratory (JPL), para la determinación del posicionamiento preciso de cada punto (precise point-positioning strategy), lo que fue planteado por Zumberge *et al.* (1997) y citado por Rodríguez *et al.* (2009). Las precisiones obtenidas oscilan entre 2 y 5 mm para las componentes horizontales.

Asimismo, las campañas de medición han sido empleadas para determinar el campo de velocidades a nivel regional, notándose claramente la conformación de dos bloques que se mueven hacia el Noroeste a velocidades diferentes, y separados por el margen norte del Graben Central de El Salvador.

Después de los terremotos del 2001, la Cooperación Española integrada por especialistas en geología y evaluación de peligrosidad sísmica de la Universidad Complutense de Madrid (UCM) y Universidad Politécnica de Madrid (UPM), iniciaron estudios en El Salvador con el objeto de contribuir a la reducción del riesgo sísmico (Benito *et al.* 2005). Los mismos se

coordinaron con el anterior Servicio Nacional de Estudios Territoriales, actualmente Observatorio Ambiental del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales de El Salvador.

Parte de estos estudios se orientaron a la evaluación de la deformación del segmento de falla conocido como “Zona de Falla de El Salvador (ZFES)” (Martínez-Díaz *et al.* 2004). Se estableció una red de bancos de marca que incluyó 30 sitios de medición por campaña (incluidos siete sitios establecidos por la Universidad de Wisconsin-Madison y operadas por el MARN), las mediciones se realizaron con el método estático, que comprendieron sesiones entre 18 y 24 horas, durante los años 2007, 2008, 2010 y 2012. Asimismo, se utilizaron los datos continuos de las cuatro estaciones fijas operadas por el MARN y una operada por el Centro Nacional de Registros de El Salvador (CNR).

Bernardino y Galán (2010), Hernández-Rey (2012) y Staller (2014) analizaron el comportamiento del segmento de falla a través del método diferencial. Los primeros utilizaron el programa LGO (Leica Geo Office) y TTC (Trimble Total Control) para analizar las campañas realizadas durante 2007 y 2008. Hernández-Rey (2012) empleó el programa TTC para analizar el periodo de medición 2007-2012, así determinaron las coordenadas precisas de los sitios a través de las líneas base entre puntos que fueron medidos al mismo tiempo, y con ello obtener el campo de velocidades. Las precisiones obtenidas oscilan entre 1 y 3 mm en las componentes horizontales (Norte y Este).

Staller (2014), determinó las coordenadas precisas de los puntos de la red a través del método diferencial, con el programa científico Bernese 5.0. Las incertidumbres para la zona de San Miguel fueron menores a 1 mm/año, en la determinación de la velocidad para las componentes horizontales. El campo de velocidades que obtuvo, le fue de utilidad para el análisis de la deformación intersísmica de acuerdo a la tasa de desplazamiento de los diferentes segmentos de la zona de falla, y sus implicaciones en la peligrosidad sísmica.

Lechner (2010) en coordinación con el SNET establecieron una red de medición en la zona del volcán de Santa Ana y alrededores del Lago de Coatepeque, y consistió en ubicación de trece sitios de medición por campaña, que fueron observados a través del método estático en sesiones de 1 a 2 horas, durante el periodo de febrero a septiembre del 2009. El objetivo del estudio fue caracterizar la actividad inter-eruptiva del complejo volcánico, así como su comportamiento tectónico. Con la duración de las sesiones, Lechner (2010) obtuvo precisiones del orden 2-11 mm en las componentes horizontales y de 12 a 34 mm en la componente vertical.

Alessandro Bonforte, investigador del Instituto Nacional de Geofísica y Vulcanología de Italia (INGV), en colaboración con el Observatorio Ambiental del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales de El Salvador, establecieron en enero de 2014 una red de 10 bancos de marca para la medición de la deformación en la zona del volcán de San Miguel, a raíz del proceso eruptivo iniciado el 29 de diciembre de 2013. Con el método estático se recolectaron datos diarios, medidos al mismo tiempo en todos los sitios, desde enero hasta finales de abril de 2014. Este arreglo permitió configurar una red robusta para realizar un análisis de tipo diferencial. Las precisiones obtenidas oscilan entre 2-3 mm en las componentes horizontales (Norte y Este), y de 4-5 mm en la vertical. Los resultados de la medición han sido publicados en el *Natural Hazards and Earth System Sciences* (NHES- Editorial Copernicus).

Para todos los casos indicados anteriormente se han empleado receptores bifrecuencia, capaces de registrar las dos frecuencias portadoras provenientes de la constelación de satélites NAVSTAR GPS, con el fin de obtener precisiones milimétricas para representar procesos de deformaciones subcentimétricas tales como los que normalmente se observan en los movimientos de fallas geológicas o de deformación volcánica.

De forma paralela a los estudios con GPS, Schiek (2008) realizó un análisis de interferometría de radar

y de datos sísmicos registrados con una red de seis estaciones de banda ancha en los alrededores del volcán de San Miguel. El manejo de la red sísmica, fue llevado a cabo por personal del Servicio Nacional de Estudios Territoriales (SNET), y operó continuamente desde marzo de 2007 hasta enero de 2008. Los datos SAR empleados corresponden al periodo de febrero de 2007 a enero de 2008. El estudio sugiere que la actividad volcánica principal se da a lo largo de una falla que corta el cráter con dirección Norte-Sur, y que se denomina como la Zona de Fractura de San Miguel (SMFZ).

Es importante indicar que los datos sísmicos también fueron utilizados para modelar la geometría subsuperficial de la SMFZ, con lo que se determinó un proceso de inflación que mostró un exceso de presión de 0.0484 MPa (Mega Pascales); y un proceso posterior de deflación que indicó valores de -0.0454 MPa, con tasas de 0.26 mm/día y 0.43 mm/día respectivamente. Este hecho sugiere que ha quedado una sobrecarga en el sistema volcánico.

El estudio concluye que los resultados de deformación obtenidos de los datos sísmicos son comparables con los del análisis interferométrico, siendo el mismo proceso geológico el que genera la deformación superficial y subsuperficial de la zona. Se indicó que la deformación en el volcán de San Miguel está localizada a lo largo de SMFZ y es producto de la intrusión de magma cargado de gases. La deflación se produce por la migración de dichos gases a través de las fracturas existentes en sistema y se manifiesta en forma de fumarolas.

MEDICIÓN DE DEFORMACIÓN EN OTROS VOLCANES.

En este apartado se citan cuatro casos relevantes de actividad volcánica, en donde la deformación del terreno ha sido un parámetro precursor de dicha actividad.

Lipman *et al.* (1981) establece que el monitoreo de deformación en el Monte Santa Helena inició a mediados de abril de 1980 con una red de

distanciómetros electrónicos, dados los índices de actividad volcánica mostrados hasta esa fecha. Durante el periodo comprendido entre el 23 de abril y el 18 de mayo de 1980 se registró un rápido movimiento del terreno en el flanco Norte, el cual fue catalogado como “abombamiento (bulging)”, observándose incrementos de deformaciones del orden de 1.5-2.5 metros/día. El proceso culminó con la erupción del 18 de mayo de 1980.

Alparone *et al.* (2013) estudió el comportamiento de más de 30 años de observaciones sísmicas y de deformación del terreno en el volcán Etna, para el periodo comprendido entre 1980 y 2012. En este contexto, entre 1993 y 2001, la red de GPS instalada en dicho volcán detectó una constante inflación en el flanco Este, que precedió las erupciones de los años 2001 y 2003. Asimismo, establece que a finales del año 2002 se registró una tasa de deformación “excepcionalmente alta” que se asoció con la intrusión de un “dique de magma”. El orden de la deformación registrada fue de 1 m aproximadamente.

El 3 de junio de 1993, el flujo piroclástico generado por el colapso del flanco Este del volcán Unzen, causó la muerte de 43 personas. Dicho evento se originó por el crecimiento de un domo de lava de tipo dacítico que desestabilizó esta ladera del volcán. Después de este suceso eruptivo, se implementó la red de medición de deformación en dicho volcán con el objetivo de medir el crecimiento del domo de lava (Matsushima y Takagi 2000). Durante un periodo de 35 días, del 24 enero al 27 de febrero de 1994, se observó un crecimiento de 11 metros en el domo. El proceso de deformación se detuvo en 1995, y en los siguientes cuatro años el mismo se encogió aproximadamente 3 metros, asociado probablemente a un enfriamiento del magma.

La actividad del volcán Stromboli, se caracteriza por explosiones intermitentes en uno o varios de sus cráteres localizados en la cima. De acuerdo con Bonaccorso *et al.* (2009), en 1990 se instaló una red de monitoreo multiparamétrica, que incluyó inclinómetros, redes de gps y equipo

geodésico robotizado. Las mediciones indican que las magnitudes de las señales de deformación son pequeñas en comparación con otros volcanes tales como el Etna. Un ejemplo de este comportamiento son las erupciones registradas en 2002, 2003 y 2007, las cuales no fueron precedidas por grandes deformaciones del terreno. El orden de magnitud de los desplazamientos horizontales osciló entre -20mm y +20 mm.

METODOLOGÍA PARA EL ESTUDIO DE DEFORMACIÓN EN EL VOLCÁN DE SAN MIGUEL

Área de estudio

El área de estudio se delimita a la zona del volcán de San Miguel y sus alrededores, entre las coordenadas geográficas 13.30° y 13.64° de latitud Norte, -88.48° y -88.12° de longitud Oeste (figura 8).

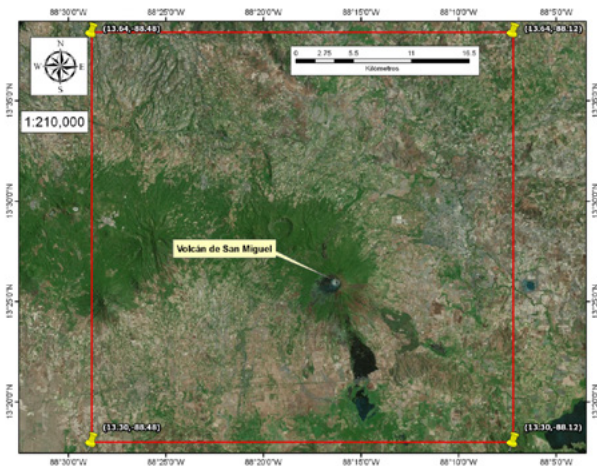


Figura 8. Zona de estudio (Elaborado por Douglas Hernández. Imagen Google Earth 2014). El círculo amarillo define la zona proximal.

De acuerdo con Escobar *et al.* (2004) las laderas de la estructura volcánica pertenecen a las municipalidades de San Miguel, Quelepa, Moncagua, Chinameca, San Jorge, San Rafael Oriente y El Tránsito.

En este sector rectangular se ubican los bancos de marca instalados a principios del año 2014 por el MARN-INGV, y los cuales han sido utilizados para el análisis de la información histórica. Es por ello que

se consideran municipalidades tan alejadas como Chapeltique y Usulután. Sin embargo, el análisis de deformación del volcán se ha realizado para la zona proximal del volcán, definida por un radio de unos 8.5 km medidos a partir del cráter central, lo que equivale a un área aproximada de unos 230 km².

Red de medición de GPS

El objetivo de este estudio fue definir el comportamiento de deformación del volcán de San Miguel en la zona proximal, por lo que se utilizaron sólo seis de los diez bancos de marca de la red establecida durante el mes de enero de 2014 por el INGV de Italia y el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN) de El Salvador. La red completa ha sido citada por Bonforte *et al.* (2016) en el documento “The unrest of S. Miguel volcano (El Salvador, CA): installation of the monitoring network and observed volcano-tectonic ground deformation”.

Los seis bancos de marca geodésicos seleccionados están ubicados en la zona proximal definida en la figura 8. Los sitios con sus respectivos códigos son: Patio de la Finca Santa Isabel (PATI), Finca Bellamira (BEMI), tanque de abastecimiento de agua potable en San Carlos El Amate (TANQ), Finca Lacayo (LACA), Alcaldía de San Jorge (SJOR) y El Ranchito (RACH). Asimismo, se utilizó como parte de la red, la estación ubicada en el cantón Piedra Azul, del municipio de San Rafael Oriente, cuyo código de identificación es VMIG.

Las coordenadas de los puntos de la red se presentan en el anexo. Las posiciones fueron determinadas con la información de GPS recolectada durante la primera semana de medición llevada a cabo durante el 2014, utilizando el programa GIPSY 6.3 del Servicio Automático de Posicionamiento Preciso del Sistema Diferencial Global GPS.

En general, la red cumple con los criterios de distribución espacial, visibilidad, estabilidad y seguridad necesarios para garantizar la correcta recepción de las señales. La figura 9 presenta la ubicación de los sitios en el mapa geológico de la zona.

Nótese que los bancos de marca están distribuidos de tal forma que cubren el sistema principal de fallas planteado por Schiek (2008). La geología superficial indica que todos los puntos se encuentran ubicados sobre estratos de la Formación San Salvador, en donde predominan rocas efusivas básicas intermedias y piroclastitas subordinadas.

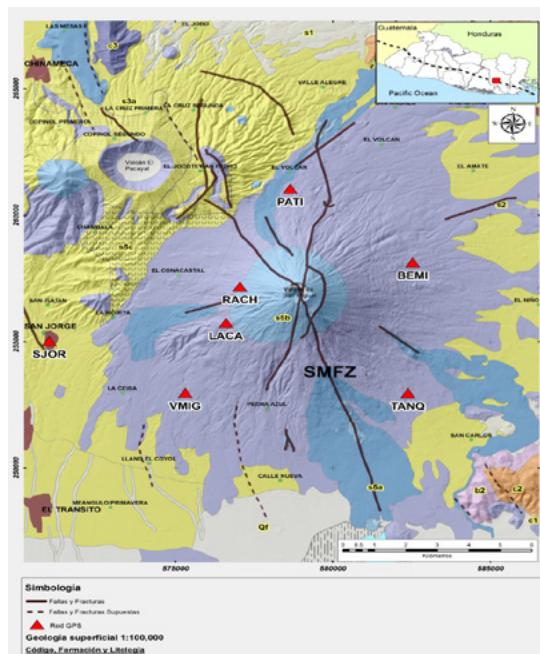


Figura 9. Ubicación de la red de medición sobre la geología superficial de la zona de San Miguel.

Adquisición de datos

El estudio comprendió la instalación de equipos receptores bifrecuencias, capaces de detectar las dos frecuencias moduladas en fase, que provienen de la constelación de Satélites NAVSTAR GPS. Se emplearon dos receptores marca Trimble, modelos 5700 y R7 para las campañas de campo; y otro receptor bifrecuencia marca Trimble, modelo Net R9 instalado de forma permanente en la estación Piedra Azul.

Referente a los sistemas de posicionamiento, se emplearon vástagos de aluminio de 45 cm de altura y bancos de marca cilíndricos, de 5 cm de diámetro, diseñados por el INGV de Italia para la campaña realizada durante el año 2014 (Bonforte *et al.* 2016) Los bancos de marca geodésicos son dispositivos de rosca,

fabricados de una aleación de cobre y zinc, que fueron anclados con material cementante (pegamento epóxico), guardando la mayor horizontalidad posible. Este tipo de dispositivo es considerado de autocentrado y ha sido utilizado en campañas de medición con GPS realizadas en el Monte ETNA, Italia, de acuerdo con Puglisi y Bonforte (2004) y Bonforte y Puglisi (2006).

Las antenas receptoras empleadas fueron del tipo Zephyr Geodetic, que disminuyen el efecto de multitrayectoria (multipath), así como garantizan la repetibilidad subcentimétrica de los centros de fase y un mejor seguimiento de los satélites que transitan en el horizonte.

Al contar sólo con dos equipos bifrecuencia para la medición de la deformación del volcán de San Miguel en modalidad de campañas de campo, se optó por medir de forma independiente cada sitio de la red, determinando sus posiciones absolutas. Esta metodología permitió reducir los costos de la investigación, en comparación con la implementación de un método de observación diferencial, en el que se requiere un mayor número de equipos, y por consiguiente de una logística de recolección de datos más complicada.

El programa de recolección de datos realizado durante el año 2015, consistió en campañas de mediciones discretas, generalmente comprendidas entre 69 y 96 horas de registro continuo, con excepciones de 4 jornadas más prolongadas que oscilaron entre 141 y 263 horas. La duración de cada campaña dependió de la logística de transporte facilitada por el MARN. Con el objeto de optimizar el uso del equipo y de transporte, se instalaba el receptor de GPS en un sitio específico, y una vez cumplida la jornada de registro programada, se retiraba de este lugar y se trasladaba a otro punto de la red.

Cada campaña de medición, en cada sitio, fue dividida en sesiones diarias para su respectivo procesamiento. Esto generó archivos con 24 horas de datos, y otros con periodos de tiempo menores (siempre al inicio y final de cada sesión). Se decidió no descartar las

sesiones menores a 24 horas, ya que normalmente se obtuvieron precisiones entre 1mm y 5 mm para las coordenadas geocéntricas X, Y, Z, siendo comparable con los resultados obtenidos por Bernardino y Galán (2010), Hernández-Rey (2012) y Bonforte et al. (2016) en esta zona del país. Se hace notar que, en cada sesión discreta, todos los puntos de la red tuvieron al menos dos archivos diarios con 24 horas de datos. El mayor número de días completos fue de 10 para la estación TANQ.

Esta metodología permitió medir los puntos RACH, SJOR, TANQ y BEMI, cuatro veces en el periodo comprendido entre febrero y octubre de 2015. La estación LACA sólo pudo medirse tres veces, ya que, en la última jornada planificada para el mes de septiembre de 2015, se decidió no dejar el equipo por razones de seguridad. En su lugar fue medido el punto USUL (alcaldía de Usulután, originalmente no contemplado en el esquema de este trabajo), considerando que sería de utilidad para fines de comparación como estación de referencia. El punto USUL había sido ocupado durante la campaña del 2014, por el MARN e INGV de Italia.

El desarrollo del trabajo de campo y registro fotográfico se muestra en el anexo.

Las estaciones PATI y VMIG tienen registro continuo durante casi todo el periodo, con excepción de dos etapas puntuales en donde se verificaron fallos en el funcionamiento de la batería y antena respectivamente. Ambos problemas fueron solventados satisfactoriamente.

El sitio PATI está ubicado en el flanco norte de la estructura volcánica, y reviste un interés particular pues es la zona del volcán en donde se ha localizado la actividad sísmica posterior al proceso eruptivo iniciado en diciembre de 2013 (MARN 2014a).

Es importante indicar que las campañas de medición en PATI y VMIG se extendieron durante los meses de enero, febrero y marzo de 2016, con el objeto de incorporar en la etapa de análisis de resultados, el comportamiento de deformación del volcán por

efecto de la erupción del 12 de enero de 2016.

El método de observación empleado tanto para la medición continua como en modalidad de campaña es el modo estático (Hofmann-Wellenhof *et al.* 2001), colectando épocas cada 30 segundos, lo que es congruente para fines de medición de deformación de corteza o geodinámica.

Asimismo, es importante indicar que antes de iniciar cada medición, se configuraba el receptor con el código del sitio; tipo y número de serie de receptor y antena empleada; altura de referencia de la antena, tasa de muestreo, máscara de elevación, entre otros aspectos. Esta información fue de utilidad para la etapa de post-procesamiento, ya que indicaba los parámetros de registro de datos en cada sesión de campo.

Cabe mencionar que el valor de máscara de elevación configurado fue de 10° . Es decir, que fueron ignorados los observables de los satélites comprendidos en un ángulo entre 0° y 10° , medido a partir de un plano hipotético horizontal localizado en el centro de fase de la antena. Esto obedece a que los satélites que se ubican en el horizonte normalmente muestran mayores errores por retardos ionosféricos y troposféricos

Procesamiento de información

a. Campo de velocidades absolutas (ITRF08)

La recolección de datos para la determinación precisa de la posición absoluta de un sitio, justifica el empleo de la técnica de procesamiento de información planteada por Jet Propulsion Laboratory (JPL-NASA), a través de la estrategia de posicionamiento puntual preciso (precise point-positioning strategy, planteado por Zumberge *et al.* 1997), del Servicio Automático de Posicionamiento Preciso (APPS) del Sistema Global Diferencial GPS (GDGPS), usando el programa GIPSY-OASIS II (GPS Inferred Positioning SYstem-Orbit Analysis and SIMulation Software, por sus siglas en inglés, o simplemente GIPSY 6.3).

El APPS del GDGPS post-procesa información que

haya sido adquirida en modo estático, realizando correcciones diferenciales con una red fiducial de más de 200 estaciones instaladas en todo el planeta, de las cuales más de 75 son receptores de triple frecuencia de calidad geodésica (JPL 2014).

La etapa de post-proceso requirió que los datos crudos (en formato binario) provenientes de los receptores GPS, fueran convertidos a un formato ASCII estandarizado y separados en sesiones diarias. Para ello se utilizó el formato RINEX de Observables (Receiver INdependent Exchange). El formato RINEX para datos de GPS permite el manejo e intercambio de datos de GPS proveniente de diferentes receptores (Dalda-Murón *et al.* 2008).

La conversión al formato RINEX y separación de jornadas en sesiones diarias se realizó a través del programa TEQC (Translation, Editing, and Quality Check) desarrollado por UNAVCO (University NAVSTAR Consortium), el cual es una herramienta ampliamente utilizada por la mayor parte de usuarios de este tipo de formato, e incluye comandos específicos para la separación y unión de archivos, pruebas de control de calidad, edición de archivos, etc. (UNAVCO 2015). Alternativamente se utilizó el convertidor de datos "Convert to Rinex" desarrollado por el fabricante de los equipos Trimble (Trimble Inc. 2015).

Las sesiones diarias en formato RINEX fueron enviadas al sitio web del APPS (<http://apps.gdgps.net/>), con ello se obtuvo las coordenadas geocéntricas precisas (X, Y, Z) con sus respectivas desviaciones estándar (1s) por día y sitio. Las coordenadas geocéntricas (X, Y, Z), provenientes del procesamiento con GIPSY-OASIS II, están referidas al Marco Internacional Terrestre de Referencia del 2008 (ITRF08) (Altamimi *et al.* 2012).

Con el objeto de estimar el comportamiento cinemático de la estructura volcánica, se determinó el campo de velocidades absolutas referidas al ITRF08 (V_x , V_y e V_z), a partir de la pendiente del gráfico de las posiciones X, Y, Z en función del tiempo, asumiendo un comportamiento lineal (Staller 2014; DeMets 2015).

Con el propósito de disminuir la dispersión de los datos, debido a la variación diaria de las coordenadas X, Y, Z, se agruparon las mismas de forma mensual o por campaña, calculando su valor promedio, y acompañándolo de su respectiva desviación estándar (1). El análisis de regresión lineal se aplicó a los datos promedios, con un nivel de confianza del 95%. Bernardino y Galán (2010) indican que este nivel de confianza es adecuado para el análisis de datos geodésicos.

Complementariamente, para cada grupo muestral se realizó el Análisis de Varianza (ANOVA), con el programa Excell, planteando como hipótesis nula que los datos no tienen una correlación estadísticamente significativa. Para aceptar o rechazar esta hipótesis se comparó el estadístico F con su respectivo Fcrítico.

Posteriormente, las velocidades V_x , V_y y V_z para cada estación, fueron transformadas a un sistema de referencia local Norte, Este y Abajo (N, E, D), según la transformación directa citada por DeMets (2015), de acuerdo con lo siguiente:

$$V_n = -V_x * \sin(\phi) * \cos(\lambda) - V_y * \sin(\phi) * \sin(\lambda) + V_z * \cos(\phi)$$

$$V_e = -V_x * \sin(\lambda) + V_y * \cos(\lambda)$$

$$V_d = -V_x * \cos(\phi) * \cos(\lambda) - V_y * \cos(\phi) * \sin(\lambda) - V_z * \sin(\phi)$$

En donde:

V_n , V_e y V_d : Son las componentes de velocidad al Norte, Este y Abajo respectivamente. Muestran un valor positivo si se orientan al Norte, al Este y hacia el centro de La Tierra.

Φ , λ : Representan la latitud y longitud expresadas en radianes para cada estación.

V_x , V_y e V_z : Son las pendientes provenientes del ajuste de regresión lineal de los gráficos de variación de las coordenadas geocéntricas en función del tiempo.

Posteriormente, con los valores de V_n y V_e se obtiene la magnitud del vector de velocidad absoluto

horizontal resultante, así como su dirección, a partir de las siguientes expresiones:

$$V_{abs} = \sqrt{V_n^2 + V_e^2}$$

$$Dirección = \tan^{-1} \left(\frac{V_e}{V_n} \right)$$

La dirección del vector resultante es positiva en el sentido que giran las agujas del reloj.

Tanto para velocidades V_x , V_y , V_z como para V_n y V_e , se estimaron sus incertidumbres basados en el error típico proveniente de los análisis de regresión lineal. Con el propósito de considerar la aleatoriedad en el cálculo de la magnitud de este vector resultante, su incertidumbre se estimó a partir del error medio cuadrático (RMSE):

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{2} (IV_n^2 + IV_e^2)}$$

En donde IV_n e IV_e , son las incertidumbres asociadas a las velocidades absolutas V_n y V_e , expresadas en mm/año.

b. Campo de velocidades relativas

Para una mejor comprensión y análisis de las deformaciones de la estructura volcánica, las velocidades horizontales absolutas V_n y V_e referidas al ITRF08, fueron transformadas a otro marco de referencia local, por medio del cálculo de velocidades horizontales relativas a través de una estación de referencia en la zona proximal del volcán o en sus cercanías. De acuerdo con DeMets (2014) y Kriswati *et al.* (2015), los efectos regionales se anulan con este procedimiento, ya que se infiere que los sitios involucrados en este cálculo son afectados regionalmente en la misma proporción.

Para fines de esta investigación, se utilizó como estación de referencia el sitio VMIG, ya que tiene un historial de registro continuo (con más de 8 años de funcionamiento ininterrumpido), y se encuentra en la zona proximal del volcán. Adicionalmente, mostró un comportamiento estable en los desplazamientos

reducidos horizontales. Asimismo, se usó la estación USUL, porque se encontraba en las cercanías de la estructura volcánica principal (a unos 20 km del cráter), y había sido parte de la red de deformación del volcán de San Miguel planteada por MARN-INGV en el 2014.

Las velocidades relativas horizontales fueron obtenidas a partir de la diferencia de velocidades absolutas entre los puntos de la red y las estaciones de referencia. La magnitud del vector de velocidad relativa horizontal resultante, así como su dirección, se obtuvieron a partir de las mismas expresiones establecidas en el literal “a” de este apartado. Finalmente, la incertidumbre en el cálculo de la magnitud de los vectores relativos y vector resultante se realizó a partir del RMSE.

c. Desplazamientos reducidos

Adicionalmente a la determinación del campo de velocidades, se calcularon las series de tiempo reducidas en las componentes Norte, Este y Altura Elipsoidal, con el objeto de estimar otras variables que permitieran complementar el análisis de deformación del volcán de San Miguel.

Las coordenadas geocéntricas X, Y, Z, fueron proyectadas con ARCGIS Versión 10.1 (licencia MARN), al sistema de referencia UTM (Universal Transverse Mercator), para la zona 16 N (El Salvador).

La altura elipsoidal se obtuvo a partir de una aplicación de Excell proporcionada en el Curso Avanzado de Sistemas de Posicionamiento por Satélite, llevado a cabo por la Universidad Politécnica de Madrid y el Instituto Geográfico Nacional de España (Dalda-Murón *et al.* 2008). La aplicación utiliza una metodología de ecuaciones cerradas, considera los parámetros del geode de referencia del sistema WGS84, y cuyos resultados tienen una precisión del orden de 0.001 m (1 mm).

El desplazamiento reducido representa la diferencia entre el valor medido en un sitio determinado, en un momento específico, con relación a la coordenada

de referencia para ese sitio. Al realizar la diferencia entre estos dos valores se eliminan los efectos regionales, dejando sólo la información referente a la deformación de la estructura volcánica. Esta valoración se realizó para obtener la deformación del terreno en función del tiempo, tal como lo realizara Bonforte *et al.* (2016) para el método diferencial.

Los desplazamientos reducidos diarios fueron graficados en función del tiempo, con el objeto de observar el comportamiento de deformación en cada sitio.

Asimismo, para disminuir la dispersión de los datos diarios, y observar de mejor forma el comportamiento de la deformación del volcán en función del tiempo, se agruparon los datos de forma mensual o por campaña, calculando su valor promedio y acompañándolo de su respectiva desviación estándar (1σ).

RESULTADOS, DISCUSIÓN Y ANÁLISIS.

Coordenadas geocéntricas

Para toda la base de datos (desde enero de 2014 hasta marzo de 2016), el promedio de las desviaciones estándar (1σ), expresadas en milímetros, osciló entre 0.7 y 4.6. Se hace notar que hubo un caso aislado para la estación BEMI que registró una desviación máxima de 19 mm para la componente “Y”, el día 14 de julio de 2015, debido probablemente a efectos de multipath que influyeron en la buena recepción de la señal (de acuerdo con lo observado en el control de calidad de esa sesión).

El cuadro 2 muestra un resumen de la calidad del procesamiento efectuado con los datos diarios, expresado a través de las desviaciones estándar (1σ), proporcionadas por el programa GIPSY-OASIS II.

En general se considera que el procesamiento de la información de GPS para la obtención de las coordenadas geocéntricas es aceptable.

Comparativamente, los análisis de deformación realizados por Bernardino y Galán (2010), Hernández-Rey (2012) y Bonforte *et al.* (2016), muestran valores

de dispersión en la zona del volcán de San Miguel, que oscilaron entre 1.2 - 4.0 mm, 1.7 - 4.4 mm y 1 - 7 mm, respectivamente. Por lo anterior, se considera que el orden de magnitud de las dispersiones de las coordenadas geocéntricas obtenidas en esta investigación es aceptable.

Cuadro 2. Desviación estándar promedio para las coordenadas geocéntricas, provenientes del procesamiento con GIPSY-OASIS II.

Estación	X	Y	Z
	1 σ (mm)	1 σ (mm)	1 σ (mm)
PATI	0.9	3.2	1.0
VMIG	0.7	2.4	0.7
RACH	0.9	3.7	1.1
LACA	1.8	3.8	1.1
SJOR	1.7	3.6	1.1
TANQ	1.0	3.6	1.1
BEMI	1.8	4.6	1.4
USUL	1.6	3.4	1.1

El cuadro 3 presenta la dispersión promedio que mostró la base de datos al realizar el cálculo de los promedios mensuales y promedios por campaña para cada estación de la red.

Cuadro 3. Dispersión promedio (1 σ) de los valores promedios mensuales y por campaña

Estación	X	Y	Z
	1 σ (mm)	1 σ (mm)	1 σ (mm)
PATI	2.7	8.1	3.1
VMIG	4.9	12.1	3.3
RACH	5.4	12.7	3.7
LACA	9.3	9.9	4.6
SJOR	5.4	12.8	4.7
TANQ	2.8	8.2	3.7
BEMI	8.1	16.5	5.3
USUL	3.5	8.4	3.5

En general se observa que la componente Y, en todos los puntos de medición, es la que muestra mayor dispersión, con valores promedios que oscilan entre 8.1 mm y 16.5 mm.

La estación BEMI es el punto con mayores desviaciones respecto la media. Las estaciones SJOR

y LACA también presentan un comportamiento similar a BEMI. La estación PATI (con registro continuo) es la que muestra las menores dispersiones en las tres coordenadas geocéntricas.

Es claro que las campañas discretas mostraron mayores incertidumbres que las mediciones continuas.

Campos de velocidades.

Los campos de velocidades en el sistema planimétrico local N, E, D, requirieron de la determinación de las velocidades absolutas V_x , V_y y V_z , en el marco de referencia ITRF08. Estos vectores provienen de las pendientes del análisis de regresión lineal de los datos promedios mensuales y por campaña en función del tiempo, con un nivel de confianza del 95%.

Es importante indicar que al comparar el estadístico F con su respectivo F crítico, el 85% de las regresiones realizadas mostraron que la correlación entre las variables era estadísticamente significativa. Para el 15% restante, en ningún caso se verificó que la hipótesis nula era cierta para todas las componentes de una misma estación, es decir que la falta de correlación estadísticamente significativa se dio de forma aleatoria en casos aislados. Por tal razón, se considera que la regresión lineal, representa el fenómeno físico de forma aceptable.

El cuadro 4 muestra los valores de velocidad absoluta V_x , V_y y V_z en el marco de referencia ITRF08.

Los vectores de velocidad absoluta V_n , V_e y V_d , en el marco de referencia local Norte, Este y Abajo (N, E, D), obtenidos de la transformación de los vectores de velocidad V_x , V_y y V_z , se presentan en el cuadro 5. También se presenta el vector de velocidad absoluto horizontal resultante ($V_{abs_h_res}$) para cada sitio.

Las incertidumbres para la componente de velocidad vertical son mayores que las incertidumbres en las componentes horizontales, siendo congruente con lo planteado por Mao *et al.* (1999) y Dixon *et al.* (2000), citados por Staller (2014), referente al análisis de los errores en la estimación de velocidades para una

estación típica situada en América del Norte, en donde se espera este tipo de comportamiento. Las figuras 10 y 11 muestran gráficamente la distribución de los campos de velocidades absolutas, referidos al ITRF08.

Cuadro 4. Velocidades absolutas para las coordenadas geocéntricas X, Y, Z, en el marco ITRF08. El nivel de confianza del análisis de regresión fue del 95%

Estación	Vx (mm/año)	Vy (mm/año)	Vz (mm/año)
PATI	4.0 ±1.0	-1.9 ±2.6	6.5 ±1.4
VMIG	1.5 ±1.6	-2.0 ±4.0	4.0 ±0.8
RACH	0.2 ±2.7	-11.9 ±7.4	-1.0 ±2.4
LACA	-0.6 ±2.7	6.2 ±5.7	7.0 ±1.5
SJOR	4.1 ±1.7	1.9 ±5.7	-3.2 ±2.2
TANQ	3.1 ±0.6	6.8 ±2.3	9.6 ±1.4
BEMI	4.4 ±4.7	13.5 ±6.3	12.0 ±3.1
USUL	-4.3 ±0.8	0.3 ±1.0	-2.4 ±0.6

Cuadro 5. Vectores de velocidad absoluta en el sistema N, E, D, referidos al ITRF08

Estación	Vn (mm/año)	Ve (mm/año)	Vd (mm/año)	Vabs_h_res (mm/año)
PATI	5.8 ±1.4	4.0 ±1.0	-7.8 ±5.0	7.1 ±1.2
VMIG	3.4 ±1.2	1.5 ±1.7	-2.9 ±6.4	3.7 ±1.5
RACH	-3.7 ±2.2	-0.2 ±2.8	-11.3 ±12.5	3.7 ±2.5
LACA	8.3 ±1.0	-0.4 ±2.7	4.4 ±9.9	8.3 ±2.0
SJOR	-2.7 ±1.0	4.2 ±1.6	2.5 ±9.6	5.0 ±1.4
TANQ	10.9 ±1.5	3.3 ±0.6	4.3 ±4.3	11.4 ±1.2
BEMI	14.8 ±2.7	4.8 ±4.7	10.2 ±14.1	15.6 ±3.8
USUL	-2.2 ±0.8	-4.2 ±0.8	0.9 ±2.3	4.8 ±0.8

Comparativamente, las incertidumbres en la determinación de Vn, Ve y Vd, calculadas por Staller (2014), son menores que las de este estudio (inferiores a 1 mm/año), lo que podría deberse al menor tiempo de observación de este trabajo. En general, Staller (2014) observó los puntos de su red alrededor de 4.5 años, y el máximo tiempo de observación de este trabajo de investigación fue de 2.2 años.

Sin embargo, al comparar los campos de velocidades absolutas horizontales obtenidos, con los resultados

de Staller (2014), para la zona de San Miguel, se observa que tanto la magnitud como la dirección de los vectores son del mismo orden de magnitud.

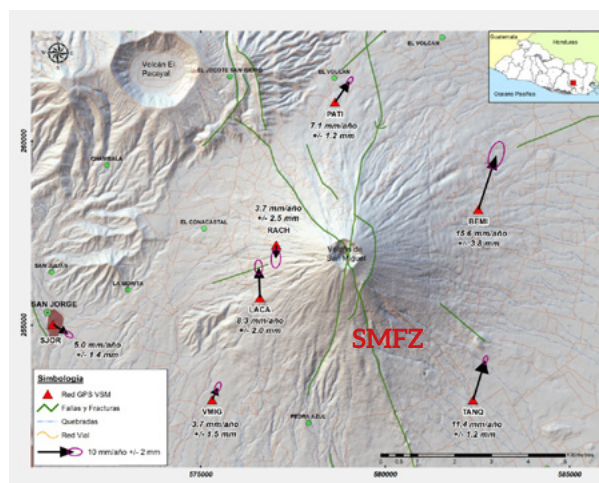


Figura 10. Campo de velocidades absolutas horizontales resultantes ($V_{abs_h_res}$) referidas al ITRF08. Proyección Cónica Conformal de Lambert, datum 1927.

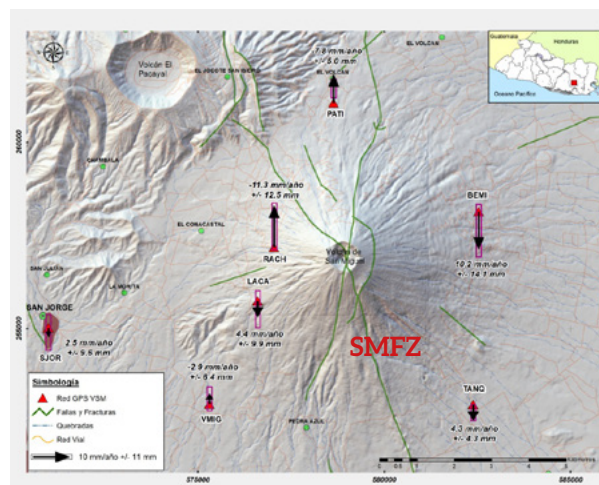


Figura 11. Campo de velocidades absolutas verticales (V_d) referidas al ITRF08. Proyección Cónica Conformal de Lambert, datum 1927.

En lo que respecta al campo de velocidades verticales, puede notarse claramente que las estaciones VMIG, RACH y PATI presentan una tendencia de deformación vertical que sugiere un comportamiento de inflación. La magnitud del vector vertical de VMIG (2.9 mm/año) es comparable en magnitud con el obtenido por Staller (2014) (2.8 mm/año), pero menor que los registrados por PATI y RACH (7.8 y 11.3 mm/año, respectivamente).

Este movimiento vertical en RACH y PATI sugieren que el sector nor-poniente del volcán podría estar experimentando un levantamiento del terreno, considerando que ambos sitios están separados tectónicamente por SMFZ, identificada por Schiek (2008) como la zona en donde se concentra la actividad del volcán de San Miguel. Este comportamiento es congruente con la ocurrencia de sismos en este sector después de la erupción de diciembre de 2013 (MARN 2014a).

Los campos de velocidad relativos a VMIG y USUL se presentan en los cuadros 6 y 7. $V_{rel_h_n}$, $V_{rel_h_e}$, y $V_{rel_h_res}$, representan la magnitud de los vectores relativos horizontales en las direcciones Norte, Este y resultante, respectivamente. Su representación gráfica se muestra en las figuras 12 y 13.

Las velocidades relativas permiten inferir que el sector nor-poniente del volcán de San Miguel se encuentra experimentando un proceso de deformación a lo largo de SMFZ. Los vectores de velocidad relativa a VMIG para las estaciones RACH y PATI indican que probablemente existe un proceso de inyección magmática que está ejerciendo presiones en esta ladera del volcán. Ambos se dirigen en sentidos opuestos.

Referente a los vectores de velocidad relativa a USUL, y específicamente por el valor de su magnitud, se podría inferir que el sector sur del volcán es más estable que el sector norte. Este hecho es congruente con lo planteado por Bonforte *et al.* (2016).

Cuadro 6. Velocidades relativas a VMIG

Estación	$V_{rel_h_n}$ (mm/año)	$V_{rel_h_e}$ (mm/año)	$V_{rel_h_res}$ (mm/año)
PATI	2.5±2.9	2.5±3.0	3.5±2.9
RACH	-7.1±3.1	-1.6±4.1	7.3±3.6
LACA	4.9±2.1	-1.9±3.8	5.2±3.1
SJOR	-6.1±2.2	2.7±3.2	6.7±2.7
TANQ	7.5±2.6	1.9±2.7	7.7±2.6
BEMI	11.4±3.6	3.4±6.1	11.9±5.0
USUL	-5.6±2.1	-5.7±2.8	8.0±2.5

Cuadro 7. Velocidades relativas a USUL

Estación	$V_{rel_h_n}$ (mm/año)	$V_{rel_h_e}$ (mm/año)	$V_{rel_h_res}$ (mm/año)
PATI	8.1±2.4	8.2±1.8	11.5±2.1
VMIG	5.6±2.1	5.7±2.8	8.0±2.5
RACH	-1.5±2.7	4.1±3.3	4.4±3.0
LACA	10.5±1.4	3.8±2.9	11.2±2.3
SJOR	-0.5±1.6	8.4±2.1	8.4±1.8
TANQ	13.1±2.0	7.6±1.2	15.1±1.7
BEMI	17.1±3.3	9.1±5.6	19.3±4.6

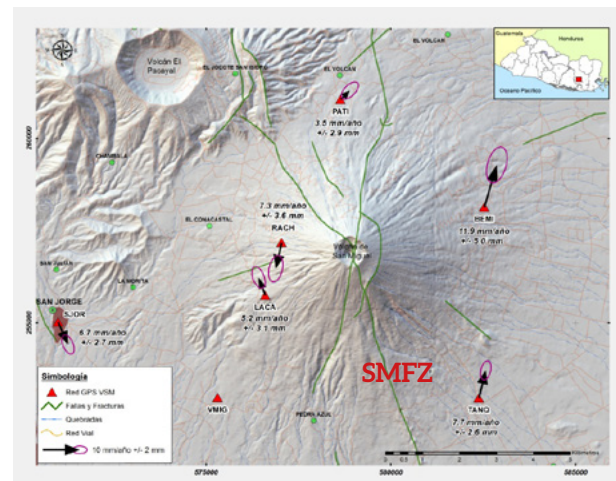


Figura 12. Campo de velocidades relativas VMIG. Proyección Cónica Conformal de Lambert, datum 1927.

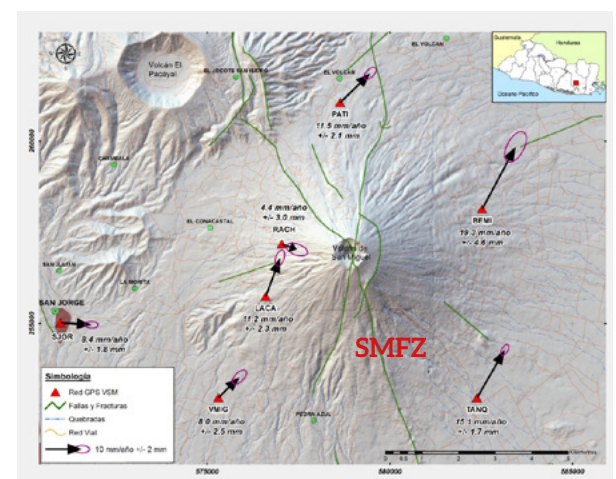


Figura 13. Campo de velocidades relativas a USUL. Proyección Cónica Conformal de Lambert, datum 1927.

Desplazamientos reducidos

Las variables analizadas corresponden a las coordenadas Norte (N), Este (E), y Altura Elipsoidal

(H). En el cuadro 8 se presenta el resumen del procesamiento de esta información, indicando la dispersión (1σ) al obtener los valores promedios mensuales y por campaña.

Cuadro 8. Desviaciones estándar promedio provenientes del cálculo de los valores promedio y por campaña para los desplazamientos reducidos.

Estación	Dirección Norte (N)	Dirección Este (E)	Altura Elipsoidal (H)
	1σ (mm)	1σ (mm)	1σ (mm)
PATI	2.2	2.7	8.4
VMIG	3.8	5.1	11.9
RACH	3.8	5.4	12.6
LACA	4.3	9.4	10.1
SJOR	3.2	5.4	13.4
TANQ	2.5	2.8	8.7
BEMI	5.2	7.8	16.4
USUL	2.5	3.5	8.8

La altura elipsoidal es la componente con mayor dispersión. Las incertidumbres promedio varían entre 8.4 mm y 16.4 mm. Asimismo, la estación BEMI presenta las mayores desviaciones con respecto a la media en las tres componentes.

Las menores desviaciones estándar promedio se observan en la componente Norte, le sigue la componente Este; y la altura elipsoidal es la que muestra los mayores valores. Este comportamiento es congruente con lo observado en la estimación de los errores en el cálculo de la velocidad en estas latitudes para las componentes Norte, Este y Vertical.

En general, se considera que la dispersión de los datos promedios es aceptable. La componente Norte mostró desviaciones promedio comprendidas entre 2.2 mm y 5.2 mm; y la componente Este osciló entre 2.7 mm y 5.4 mm, exceptuando los casos de LACA y BEMI con valores de 9.4 mm y 7.8 mm respectivamente. Comparativamente, Bonforte *et al.* (2016) obtuvo precisiones del orden de 2-3 mm para las componentes horizontales.

El resultado más notable de este análisis se observa en la estación PATI, en donde se verificó una deformación permanente en la dirección Norte, la

cual probablemente inició con el episodio eruptivo del 12 de abril de 2014, y alcanzó 10 mm de forma sostenida durante más de 20 meses, hasta que sufrió otro incremento de aproximadamente 5 mm, desde el mes de diciembre de 2015 y hasta la erupción del 12 de enero de 2016. Este mismo comportamiento se observa a partir de finales de marzo (figura 14).

Esto ratifica los resultados observados en los campos de velocidad vertical y relativos valorados anteriormente, indicando que existe un proceso lento, pero continuo de inyección magmática.

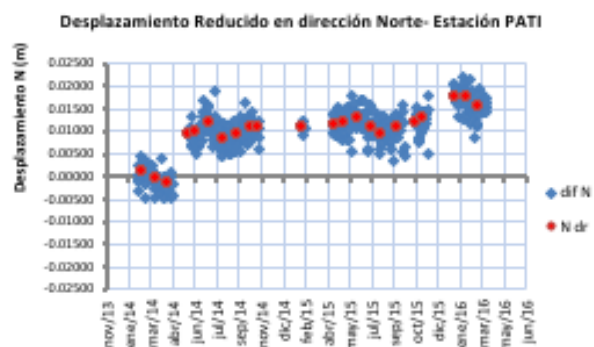


Figura 14. Comportamiento diario (azul) y promedio (rojo) para el desplazamiento reducido en el componente N. Estación PATI. Nótese la deformación permanente hacia el Norte indicando una probable inflación de este sector.

El resto de estaciones de la red muestran, en las diferentes componentes, ciclos alternos de probables deflaciones-inflaciones que han oscilado entre 5 y 20 mm, los cuales podrían obedecer a los diferentes episodios eruptivos sucedidos desde diciembre de 2013 hasta la fecha. No es posible establecer con certeza el inicio de estos ciclos dado el carácter de las mediciones realizadas. Sin embargo, este mismo comportamiento fue observado por Bonforte *et al.* (2016) durante el análisis de la campaña realizada de enero a abril de 2014.

COMPARACIÓN CON OTRAS TÉCNICAS DE MONITOREO

Los resultados de la medición de deformación fueron comparados con otras técnicas de monitoreo implementadas por el MARN y la UES en la zona del volcán de San Miguel, con el propósito de determinar

si existe o no algún nivel correlación entre ellas.

Los parámetros comparados son los siguientes:

1. Deformación reducida en la componente Norte de la estación PATI (Finca Santa Isabel), ya que mostró un cambio significativo a lo largo del periodo de observación.
2. Nivel de vibración diaria del volcán expresado a través de la medición de la amplitud sísmica en tiempo real (RSAM), y que comprende los datos desde diciembre de 2013 hasta marzo de 2016.
3. Flujo de Dióxido de azufre (SO₂).
4. Ocurrencia de erupciones registradas desde diciembre de 2013 hasta marzo de 2016.
5. Flujo de Dióxido de Carbono (CO₂), medido en un perfil localizado en la Finca Santa Isabel, desde enero hasta diciembre de 2015.
6. Sismicidad registrada en el volcán de San Miguel por la red de estaciones del MARN, desde enero de 2013 hasta mayo de 2016.

Se realizó un análisis de ANOVA a los diferentes grupos muestrales, con el objeto de determinar si existía o no algún grado de correlación. Los resultados indicaron que los grupos son significativamente diferentes y no existe una correlación estadística significativa.

Sin embargo, y a pesar de la complejidad del fenómeno volcánico, cualitativamente si se puede inferir algún nivel de correlación entre los parámetros de monitoreo. Los resultados de las comparaciones se muestran en las figuras 15 y 16.

Durante el periodo intenso de erupciones entre abril y julio de 2014, se verificó el mayor cambio en deformación para esta zona del volcán (+10 mm sobre la línea de cero), la cual se mantuvo sostenida aproximadamente por 20 meses. Durante la máxima concentración de CO₂ verificada entre los meses de septiembre y octubre de 2015, se comenzó a verificar el último cambio significativo de deformación, que

tuvo una magnitud de 5 mm que culminó con la erupción del 12 de enero de 2016.

En total se ha registrado una deformación positiva de 15 mm. Probablemente este comportamiento obedece a un proceso lento pero continuo de inyección magmática.

En general, los episodios eruptivos relevantes posteriores al 29 de diciembre de 2013 han ocurrido cuando los niveles de vibración han sido superiores a 400 unidades RSAM en promedio/día. Asimismo, el flujo de SO₂ registrado antes de estos eventos ha sido superior a las 1500 ton/día.

En resumen, después del proceso eruptivo iniciado en diciembre de 2013, ha existido una relación entre los diferentes parámetros de monitoreo, lo que indica que se han generado al menos dos procesos importantes de inyección magmática en el sistema volcánico.

La sismicidad registrada en el volcán de San Miguel, desde enero de 2013 hasta mayo de 2016, muestra que los epicentros se han concentrado en el sector Norte del volcán, siendo congruente con las anomalías registradas en deformación y concentraciones de CO₂. Este comportamiento permite inferir que la mayor peligrosidad del volcán ante futuros episodios eruptivos es más probable en este flanco del volcán.

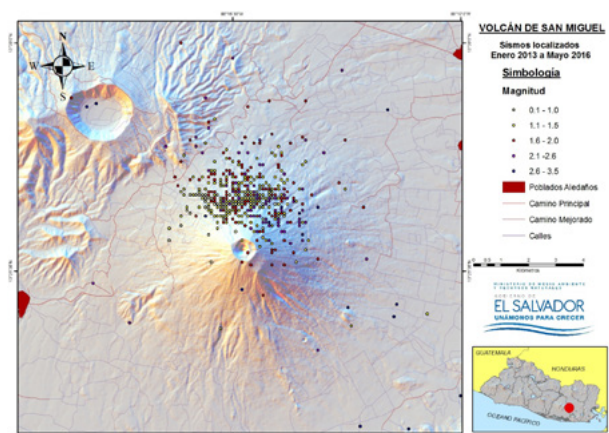


Figura 15. Sismicidad registrada en el volcán de San Miguel, desde enero de 2013 hasta mayo de 2016. Los epicentros se han concentrado en el sector Norte del volcán, siendo congruente con la anomalía registrada en la deformación

Gráfico consolidado de técnicas de monitoreo en VSM

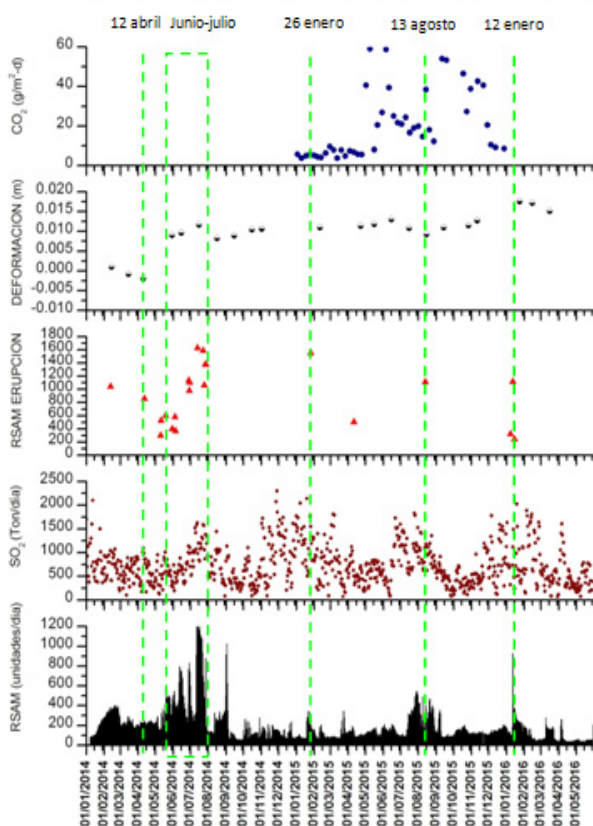


Figura 16. Consolidado de todas las técnicas de monitoreo comparadas. Las líneas punteadas muestran los eventos eruptivos relevantes después del 29 de diciembre de 2013.

CONCLUSIONES

La falla que atraviesa el volcán de San Miguel en dirección Norte-Sur, identificada como SMFZ es el elemento geológico más importante del volcán de San Miguel, en donde se concentra la actividad principal de dicho volcán. Existe un movimiento de fluidos al interior del volcán que genera que las estaciones PATI y RACH, ubicadas a ambos lados de SMFZ, se dirijan en sentidos opuestos. Este hecho se ratifica al observar el comportamiento de los vectores verticales en los mismos sitios, ya que se confirma una deformación dirigida desde el interior del volcán hacia su superficie.

El lado Norte de SMFZ es más inestable que el lado sur, ya que el promedio de la magnitud de los vectores de uno con respecto al otro es excedido en más del 80%, de acuerdo con lo observado en el campo de

velocidades relativo a USUL. El sector Norte de SMFZ parece ser más sensible a la dinámica interna del volcán.

El análisis de deformación evidencia que han ocurrido al menos dos instantes significativos de probable inyección magmática en el sistema volcánico, que se evidenciaron en la deformación permanente observada en la componente Norte de la estación PATI. El orden de magnitud de las deformaciones del terreno en el volcán de San Miguel es pequeño debido al estilo eruptivo tipo estromboliano mostrado hasta la fecha por dicho volcán. En tal sentido, para futuros procesos eruptivos (similares a los observados), no deberían esperarse grandes deformaciones en el terreno.

Todas las técnicas de monitoreo empleadas muestran concordancia con relación a los parámetros medidos durante este periodo, e indica que el sector norte del volcán es el que representa actualmente una mayor amenaza.

En tal sentido, el flanco Norte del volcán es la zona de mayor riesgo volcánico, en donde pudiera ocurrir una erupción lateral de mayor intensidad que las observadas hasta la fecha.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la colaboración prestada por el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, ya que sin su apoyo logístico no hubiese sido posible desarrollar las jornadas de campo y procesamiento de datos. Asimismo, fue invaluable el apoyo en cuanto al acceso de información histórica y herramientas para el procesamiento de la misma. Un especial reconocimiento al grupo del MARN integrado por Celina Kattan, Manuel Díaz, Eduardo Gutiérrez, Francisco Montalvo, Rodolfo Castro, Mario Reyes, Manuel Calderón, Luis Calderón, pero con especial atención a Cecilia Polío y Luis Mixco, quienes dedicaron mucho empeño a apoyar diferentes etapas de este proceso.

Se hace extensivo el agradecimiento a la Universidad

de Palermo (UNIPA, Italia), cuyo apoyo docente, administrativo y financiero permitió el desarrollo de la maestría en Evaluación de Peligrosidades Naturales en la Universidad de El Salvador.

De igual forma, se extiende este reconocimiento a la Agencia Italiana de Cooperación para el Desarrollo representada por el INGV, ya que su esfuerzo durante los primeros meses del 2014, referidos al establecimiento de la red de control y de la transferencia de conocimiento, favoreció la continuidad de este tipo de investigaciones.

A los tutores externos, Dr. Charles DeMets y Dr. Attilio Sulli, cuyos comentarios y sugerencias enriquecieron el contenido del trabajo.

Finalmente, al Grupo de Investigación en Vulcanología de la Universidad de El Salvador (GIV-UES), quienes proporcionaron datos e información y sugerencias para el desarrollo del mismo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alparone, S; Bonaccorso, A; Bonforte, A; Currenti, G. 2013. Long-term stress-strain analysis of volcano flank instability: The eastern sector of Etna from 1980 to 2012: LONG-TERM STRAIN OF ETNA UNSTABLE FLANK. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth* 118(9): 5098-5108.
- Altamimi, Z; Métivier, L; Collilieux, X. 2012. ITRF2008 plate motion model. *Journal of Geophysical Research* 117(B7).
- Alvarado, D; DeMets, C; Tikoff, B; Hernandez, D; Wawrzyniec, TF; Pullinger, C; Mattioli, G; Turner, HL; Rodriguez, M; Correa-Mora, F. 2011. Forearc motion and deformation between El Salvador and Nicaragua: GPS, seismic, structural, and paleomagnetic observations. *Lithosphere* 3(1): 3-21.
- Benito, B; Hasbun, P; Cepeda, J; Hernández, D; Pullinger, C; Marroquín, G; Martínez-Díaz, J. 2005. Caracterización del Movimiento del suelo y sus efectos en la infraestructura durante los terremotos del 2001, El Salvador. UPM-UCA-SNET San Salvador. SV. 73 p.
- Bernardino, L; Galán, S. 2010. Determinación de deformaciones asociadas a la Zona de Falla de El Salvador (ZFES) a partir de observaciones GPS. Proyecto de fin de carrera. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, ES. 219 p.
- Bonaccorso, A; Bonforte, A; Gambino, S; Mattia, M; Guglielmino, F; Puglisi, G; Boschi, E. 2009. Insight on recent Stromboli eruption inferred from terrestrial and satellite ground deformation measurements. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 182(3-4): 172-181.
- Bonforte, A; Puglisi, G. 2006. Dynamics of the eastern flank of Mt. Etna volcano (Italy) investigated by a dense GPS network. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 153(3-4): 357-369.
- Bonforte, A; Hernandez, D; Gutiérrez, E; Handal, L; Polío, C; Rapisarda, S; Scarlato, P. 2016. The unrest of S. Miguel volcano (El Salvador, CA): installation of the monitoring network and observed volcano-tectonic ground deformation. *Natural Hazards and Earth System Sciences Discussions* 3(10): 6117-6148.
- Correa-Mora, F; DeMets, C; Alvarado, D; Turner, HL; Mattioli, G; Hernandez, D; Pullinger, C; Rodriguez, M; Tenorio, C. 2009. GPS-derived coupling estimates for the Central America subduction zone and volcanic arc faults: El Salvador, Honduras and Nicaragua. *Geophysical Journal International* 179(3): 1279-1291.
- Dalda-Murón, A; González-Matesanz, F; Cano, M; Sánchez-Sobrino, J; Valdés, M. 2008. Memorias del Curso Avanzado de Posicionamiento por Satélite. Madrid, ES.
- DeMets, C. 2001. A new estimate for present-day Cocos-Caribbean plate motion: Implications for slip along the Central American volcanic arc. *Geophysics Research Letters* 28: 4.
- DeMets, C. 2014. Recomendación sobre estilo de procesamiento de datos de GPS (correo electrónico del 20 de marzo de 2014). Madison, US.
- DeMets, C. 2015. Curso de procesamiento de datos de GPS realizado del 14 al 16 de enero de 2015 (consultas personales realizadas entre sesiones de trabajo). San Salvador, SV, Universidad

- Centroamericana “José Simeón Cañas”.
- Escobar, D; Ferres, D; Pullinger, C; Delgado, H; Farraz, I; Alatorre, M; Hurst, A. 2004. Memoria Técnica de los Mapas de Escenarios de Amenaza Volcánica. Volcán de San Miguel o Chaparrastique (en línea). Consultado 20 de mayo de 2014. Disponible en <http://www.snet.gob.sv/Geologia/Vulcanologia/memorias/mtVSM.htm>.
- Fernandes, RMS; Miranda, JM; Meijninger, BML; Bos, MS; Noomen, R; Bastos, L; Ambrosius, BAC; Riva, REM. 2007. Surface velocity field of the Ibero-Maghrebian segment of the Eurasia-Nubia plate boundary. *Geophysical Journal International* 169(1): 315-324.
- Google. 2014. Image Landsat. US Dept of State Geographer. Data SIO, NOAA, US Navy, NGA, GEBCO.
- Graham, SE; DeMets, C; DeShon, HR; Rogers, R; Maradiaga, MR; Strauch, W; Wiese, K; Hernandez, D. 2012. GPS and seismic constraints on the M = 7.3 2009 Swan Islands earthquake: implications for stress changes along the Motagua fault and other nearby faults: M = 7.3 Swan Islands fault earthquake. *Geophysical Journal International* 190(3): 1625-1639.
- Hernández-Rey, R. 2012. Análisis de deformaciones tectónicas geodésicas asociadas a la zona de falla de El Salvador: contribución a los estudios de riesgo sísmico. Máster en Geología Ambiental y Recursos Geológicos. Madrid, ES, Universidad Complutense de Madrid. 55 p.
- Hofmann-Wellenhof, B; Lichtenegger, H; Collins, J. 2001. *Global Positioning System Theory and Practice*. Vienna, Springer Vienna : Imprint : Springer. 382p.
- JPL (Jet Propulsion Laboratory-NASA, US). 2014. Servicio Automático de Posicionamiento Preciso del Sistema Diferencial Global GPS usando GIPSY 6.3 (en línea). Consultado el 8 de mayo de 2014. Disponible en <http://apps.gdgps.net/>.
- Kriswati, E; Kuncoro, H; Meilano. 2015. Low rate of Sinabung deformation inferred by GPS measurement (2015, s.l.). Ed., I. s.l., 050007 p.
- Lechner, H. 2010. Differential GPS as a Monitoring Tool on Volcano Santa Ana (Illumatepec) and the Coatepeque Caldera, El Salvador. Degree of Master of Science in Geology. Michigan, US, Michigan Technological University. 92 p.
- Lipman, P; Moore, J; Swanson, D. 1981. Bulging of the north flank before the May 18 eruption—geodetic data. *US Geol Surv Prof Paper* 1250:143-156 (en línea). Consultado 3 de octubre de 2016. Disponible en <https://books.google.com.sv/books?id=BCksAQAAIAAJ&dq=Volcanic%20deformation%20at%20mount%20st%20helens&pg=PA157#v=onepage&q=Volcanic%20deformation%20at%20mount%20st%20helens-&f=false>
- MARN. 2014a. Erupción del volcán de San Miguel (29 diciembre de 2013) y su evolución posterior hasta el 13 de febrero de 2014. Informe Interno. San Salvador, SV. 16 p.
- MARN. 2014b. Cronología de Erupciones Volcán de San Miguel (en línea). Consultado 20 de mayo de 2014. Disponible en http://www.snet.gob.sv/ver/vulcanologia/monitoreo/historial+eruptivo/?id_volcan=7.
- MARN. 2016. Volcán Chaparrastique: Informe Especial No 2- Erupción del 12 de enero de 2016. San Salvador, SV. 2 p.
- Matsushima, T; Takagi, A. 2000. GPS and EDM monitoring of Unzen volcano ground deformation. *Earth, Planets and Space* 52(11): 1015-1018.
- Misión Geológica Alemana. ed. 1974. Mapa Geológico de la República de El Salvador. Hannover. 1:100000
- Martínez-Díaz, JJ; Álvarez-Gómez, JA; Benito, B; Hernández, D. 2004. Triggering of destructive earthquakes in El Salvador. *Geology* 32(1): 65.
- Puglisi, G; Bonforte, A. 2004. Dynamics of Mount Etna Volcano inferred from static and kinematic GPS measurements: DYNAMICS OF MOUNT ETNA INFERRED FROM GPS. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth* 109(B11).
- Rodríguez, M; DeMets, C; Rogers, R; Tenorio, C; Hernandez, D. 2009. A GPS and modelling study of deformation in northern Central America. *Geophysical Journal International* 178(3): 1733-1754.
- Schiek, C. 2008. Characterizing the Deformation of Reservoirs Using Radar Interferometry, Gravity, and Seismic Analyses. Degree of Doctor of Philosophy. El Paso, Texas, US, The University of Texas at El Paso. 87 p.
- Staller, A. 2014. Modelización de las deformaciones corticales en El Salvador (Centroamérica)

mediante la integración de datos geodésicos (GPS), geológicos y sismológicos. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, ES. 222 p.

Trimble Inc. 2015. Software Convert to RINEX para el tratamiento de datos crudos de GPS (en línea). Consultado el 10 de febrero de 2015. Disponible en <http://www.trimble.com>

UNAVCO (University NAVSTAR Consortium, US). 2015. Software TEQC para procesamiento de datos de GPS. Consultado el 10 de febrero de 2015. Disponible en http://www.unavco.org/software/data-processing/teqc/tutorial/tutorial.html#sec_11.

Zumberge, JF; Heflin, MB; Jefferson, DC; Watkins, MM; Webb, FH. 1997. Precise point positioning for the efficient and robust analysis of GPS data from large networks. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth* 102(B3): 5005-5017.



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

Artículo de investigación

Efecto de tres selladores de barrera sobre la incidencia de mastitis subclínica y la evaluación de resistencia a antibióticos de tres bacterias patógenas en dos lecherías en el municipio de Caluco, Sonsonate, El Salvador

Effect of three brands of teat sealants on the incidence of subclinical mastitis and the evaluation of resistance to antibiotics of three pathogenic bacteria in two dairies in the municipality of Caluco, Sonsonate, El Salvador

Inestroza-Osorio, F.¹, Zepeda-Calles, T.Z.¹, Galindo-Guzmán, L.R.¹,
Salazar, C.D.², Morán-Rodríguez, A.E.³, Corea, E.E.²

Correspondencia:

fabrizio.nix@gmail.com
luis.reynaldo.gg@hotmail.com
tatianaazc@hotmail.com

Presentado:

17 de octubre de 2020

Aceptado:

13 de noviembre de 2020

- 1 Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias Agronómicas, Departamento de Medicina Veterinaria.
- 2 Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias Agronómicas, Departamento de Zootecnia.
- 3 Universidad de El Salvador, Centro de Investigación y Desarrollo en Salud (CENSALUD).

RESUMEN

La mastitis clínica y subclínica infecciosa ocurre cuando uno o más agentes etiológicos ingresan al interior de la glándula mamaria y le provocan cambios físicos, químicos y morfológicos. Para su control se utilizan diferentes antibióticos que eliminan la infección. El uso de tratamientos de manera empírica sin realización de pruebas ha llevado en la era moderna a que los microorganismos desarrollen resistencia y multiresistencia. El objetivo de la investigación fue determinar la eficacia de tres marcas de selladores de pezón sobre la incidencia de mastitis subclínica bovina. Los cuartos mamarios de 120 vacas fueron examinados y evaluados mediante la prueba california para el diagnóstico de mastitis (CMT) durante 3 rotaciones de 21 días, dando un total de 360 observaciones. Las muestras positivas a CMT fueron llevadas al laboratorio para la identificación de *Streptococcus agalactiae*, *Staphylococcus aureus* y *Escherichia coli* y mediante el método de difusión en disco se midió la sensibilidad, resistencia y multiresistencia hacia los antibióticos de uso más frecuente en dos ganaderías del departamento de Sonsonate en El Salvador. Los resultados indican que 13.88% de las vacas fueron positivas a CMT. Los selladores presentaron niveles de protección contra mastitis subclínica entre el 82.5% y el 89.16%, sin presentar diferencia significativa entre ellos. *Escherichia coli* fue el principal patógeno encontrado (42.85% de los aislamientos), seguido de *Staphylococcus aureus* (21.97%) y *Streptococcus spp.* (16.48%). Además, se aisló *Staphylococcus coagulasa-negativo* (18.68%); *Streptococcus agalactiae* no se encontró en ningún aislamiento. Las bacterias aisladas presentaron un alto grado de resistencia a penicilina G y a ampicilina (betalactámicos), además de presentar multiresistencia a las familias de aminoglucósidos, betalactámicos y quinolonas.

Palabras clave: mastitis subclínica; antibióticos, Prueba california de mastitis (CMT), resistencia bacteriana, multiresistencia bacteriana.

ABSTRACT

Infectious clinical and subclinical mastitis occurs when one or more etiological agents enter the interior of the mammary gland and cause physical, chemical and morphological changes of the gland. Different antibiotics are used to eliminate mastitis infection. The empirical use of antibiotic treatments without testing has led, in the modern era, to the development of resistance and multi-resistance of microorganism to antibiotic therapy. The objective of the research was to determine the efficacy of three brands of teat sealants on the incidence of subclinical bovine mastitis. The mammary quarters of 120 cows, in two herds of the Department of Sonsonate, were examined and evaluated using the California Mastitis Diagnostic Test (CMT) during 3 rotations of 21 days, for a total of 360 observations. The samples positive to CMT were taken to the laboratory for the identification of *Streptococcus agalactiae*, *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli*. The sensitivity, resistance and multi-resistance towards the most frequently used antibiotics were determined by the disk diffusion method. The results indicated that 13.88% of the cows were positive for CMT. The sealants presented levels of protection against subclinical mastitis between 82.5% and 89.16%, with no significant difference among sealants. *Escherichia coli* was the main pathogen found (42.85% of the isolates), followed by *Staphylococcus aureus* (21.97%) and *Streptococcus* spp. (16.48%). In addition, coagulase-negative *Staphylococcus* (18.68%) was isolated; *Streptococcus agalactiae* was not found in any isolate. The isolated bacteria presented a high degree of resistance to penicillin G and ampicillin (beta-lactams), in addition to presenting multi-resistance to the aminoglycoside, beta-lactam and quinolone antibiotic families.

Keywords: subclinical mastitis; antibiotics, California mastitis test (CMT), bacterial resistance, bacterial multiresistance.

INTRODUCCIÓN

La producción de leche en El Salvador, es una de las principales actividades productivas del sector ganadero que ha generado 150 000 empleos a nivel rural y produjo cerca de 500 millones de litros de leche en 2015 (BCR, 2016); lo que representa un 60% a 70% de las necesidades de consumo del país, esto refleja una producción insuficiente para la demanda actual.

La mastitis es uno de los problemas que influye en la disminución de la producción de leche en las ganaderías y permite que la productividad anual en el hato disminuya entre un 10% a 11% (Calvinho y Tirante, 2005). Esta es una inflamación de la glándula mamaria ocasionada por lesiones traumáticas o la entrada de microorganismos patógenos a su interior; según su severidad, la mastitis se clasifica como clínica y subclínica, esta última es difícil de ver a simple vista, ya que casi siempre los cuartos afectados y la leche tienen apariencia normal, por lo que se vuelve necesario realizar conteo de células somáticas para su verificación. La mastitis no sólo causa disminución en la calidad y la producción láctea, también provoca daño y en ocasiones la pérdida glandular; además implica mano de obra extra, leche de desperdicio, gastos por medicamentos e incremento de los costos

por concepto de reemplazos. Se reporta que el porcentaje de vacas eliminadas por causa de mastitis va de 1.3% hasta 25% anualmente (Olguín y Bernal, s.f).

La mastitis subclínica afecta a todas las ganaderías con un porcentaje variable entre 15% a 75% de prevalencia (Merck, 2006), lo que limita la cantidad de litros de leche aportada por los ganaderos para solventar la demanda de productos lácteos.

Para mantener al mínimo la prevalencia es necesaria una desinfección post ordeño. La desinfección de pezones mantiene sana la piel del pezón y ayuda a cicatrizar heridas, además contribuye de forma decisiva al control de mastitis, ya que más del 50% de nuevas infecciones de la ubre se pueden prevenir desinfectando los pezones después de cada ordeño con un producto efectivo. Entre los principales componentes activos en los desinfectantes de pezones se encuentran: yodo, clorhexidina, compuestos aniónicos ácidos (ácido sulfónico de alquil benceno), cloro, amonios cuaternarios, ácidos grasos (Callejo Ramos, 2010). El sellador de pezón busca que el paso al interior de la ubre quede bloqueado a los agentes patógenos causantes de la mastitis.

Los patógenos causantes de la mastitis en ganado, se

dividen en mayores y menores: primero se encuentran los patógenos contagiosos (*Staphylococcus aureus*, *Streptococcus agalactiae* y *Mycoplasma bovis*) y los patógenos medioambientales (*Streptococcus uberis* y *Streptococcus dysgalactiae*) en cuanto a coliformes se encuentran bacterias gram negativas (*Escherichia coli*, *Klebsiella* spp. y *Enterobacter* spp.). En el segundo grupo encontramos patógenos como: *Staphylococcus chromogenes*, *Staphylococcus xylosus* y *Staphylococcus sciuri*, *Staphylococcus warneri*, *Staphylococcus simulans* y *Staphylococcus epidermidis*, así como *Corynebacterium bovis* (Ruiz, 2016). De todos estos, se seleccionaron tres patógenos por ser los más comúnmente encontrados en otros estudios y bibliografías (*S. agalactiae*, *S. aureus* y *E. coli*).

Los agentes antimicrobianos han sido ampliamente usados para el tratamiento de mastitis bovina. Existen importantes razones para evaluar la resistencia a los antibióticos, una de ellas es obtener información que ayudará en la elección del antimicrobiano más adecuado para el tratamiento. Y la más importante desde el punto de vista de salud pública, que se enfoca en la detección temprana de cepas bacterianas con resistencia múltiple a distintos antibióticos para evitar la presencia de estas en la cadena de alimentos de origen animal (Giannechini et al., 2014).

Por estas razones el objetivo de la investigación fue; comparar tres de los selladores a base de yodo disponibles en el mercado y determinar cuál provee un porcentaje mayor de protección contra mastitis subclínica, así como medir la prevalencia; además verificar la presencia de *Streptococcus agalactiae*, *Staphylococcus aureus* y *Escherichia coli*, considerados los principales agentes patógenos causantes de mastitis, y determinar su sensibilidad, resistencia y multiresistencia a los antibióticos más comúnmente utilizados en el tratamiento.

MATERIALES Y MÉTODOS

Metodología de campo: Ubicación, duración, unidades experimentales

El estudio se llevó a cabo en el periodo de junio – agosto del año 2017 en dos ganaderías lecheras ubicadas en el municipio de Caluco departamento de Sonsonate en El Salvador, que cuentan con sistemas de producción intensiva, manejo estabulado, ordeños mecanizados y genética predominantemente Holstein con una cantidad mayor a 120 vacas en ordeño.

Evaluación de efectividad de selladores

Se utilizó un protocolo de ordeño que consiste en la aplicación de un sellador de barrera a base de yodo, así como en la realización de forma periódica la prueba california de mastitis test (CMT). Se siguió el protocolo de ordeño recomendado por la Cooperativa La Salud de Sonsonate que incluía: lavado de manos, despunte, resellado, secado, colocación y lavado de pezoneras y aplicación de sellador.

Selección de unidades experimentales

Al inicio del estudio, se seleccionaron 60 vacas en ordeño para cada ganadería con resultado a prueba CMT negativo, menos de 150 días en lactancia, condición corporal mayor a 3.0 e historial de salud normal. Las vacas fueron repartidas al azar en tres grupos de tratamiento, que consistían en tres diferentes selladores de pezón (a base de yodo). Las vacas fueron identificadas por grupos con listón de color diferente para cada sellador y se instruyó a los ordeñadores para usar el sellador correspondiente en cada caso.

Aplicación de los tratamientos

El experimento consistió en tratar 120 vacas negativas a CMT, divididas en grupos a las que se le aplicaron uno de tres selladores a base de yodo activo (2200-2500 ppm) durante 21 días, 20 con el sellador A; 20 con sellador B; y 20 sellador C). Las vacas de ambas ganaderías fueron preselladas con un desinfectante con acción virucida, bactericida, fungicida y

esporicida. Al final de un periodo de 21 días se realizó la prueba de CMT, y registró como negativas a las vacas sin reacción y positivas a las vacas que presentaron reacción grado Trazas o 1 en uno o más cuartos, las vacas positivas en al menos un cuarto de la ubre se sustituyeron con una vaca negativa para mantener el número de vacas en estudio. Luego de

la prueba CMT, las vacas de cada grupo pasaron a usar el siguiente sellador hasta que se completaron los tres productos con intervalos de 21 días cada uno (Cuadro 1). Durante la prueba CMT, se anotó el grado de reacción en todos los cuartos de todas las vacas de las ganaderías y así se obtuvo el número de casos nuevos de mastitis dentro de cada tratamiento.

Cuadro 1. Dinámica de aplicación y rotación de selladores

Diseño metodológico/ Unidades experimentales						
	Ganadería 1			Ganadería 2		
UNIDADES	20	20	20	20	20	20
Periodo 1	A	B	C	A	B	C
Periodo 2	C	A	B	C	A	B
Periodo 3	B	C	A	B	C	A
Lecturas obtenidas por cada sellador	A = 60	B = 60	C = 60	A = 60	B = 60	C = 60
TOTAL	180			180		

Nota: Cada grupo de tratamiento por cada sellador comprendía 20 individuos.

Aislamiento, evaluación de la sensibilidad y resistencia a antibióticos

Recolección de muestras

Durante las pruebas de CMT, se escogieron diez vacas positivas en cada ganadería y se les realizó un estudio de aislamiento de bacterias y sensibilidad a antibióticos. Para obtener las muestras se realizó una higienización de la ubre y el pezón y así retirar residuos contaminantes de la muestra. Las muestras fueron tomadas de forma manual directamente del pezón afectado por lo que se eliminaron los primeros 2 o 3 chorros de leche y luego se recolectó una cantidad suficiente (aproximadamente 150 ml) en bolsas estériles y estas fueron transportadas en hieleras con gel refrigerante a una temperatura aproximada de 4°C hacia los laboratorios de Control de Calidad Microbiológico del Centro de Investigación y Desarrollo en Salud (CENSALUD) en la Universidad de El Salvador donde eran procesadas.

Metodología de laboratorio: aislamientos bacterianos

Se siguieron los procedimientos establecidos

por BAM (2016), para el aislamiento de bacterias importantes para la mastitis: *Streptococcus agalactiae*, *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*. Se realizó una siembra primaria de cada una de las muestras de leche para cada una de las tres bacterias en agua peptonada bufferada (APB) (*S. aureus*, *E. coli*) y caldo Brain Heart Infusion (BHI) (*S. agalactiae*); luego se procedió a incubar por un periodo de 24-48 horas en aerobiosis para *S. aureus* y *E. coli*, y anaerobiosis para *S. agalactiae*.

***Streptococcus agalactiae*.**

Después de su incubación en BHI, se procedió a realizar el siguiente procedimiento:

Agar Sangre: se inoculó en este medio y se incubó en condiciones de anaerobiosis durante 24 horas, esperando ver beta hemólisis.

Prueba de CAMP: para esto se procedió a sembrar una estría de una cepa control de *S. aureus* y perpendicularmente a esta (lo más cerca posible sin llegar a tocarla) se sembró la cepa de *Streptococcus* spp. en estudio. Se dejó incubar por 24 horas a 35°C en anaerobiosis y su interpretación fue el sinergismo

de hemólisis causadas por ambas bacterias, en forma de punta de flecha en la zona que estaba más cercana a ambas estrías (Julio et al., 2014).

Prueba de bilis esculina: se sembró directo de agar sangre en este medio donde se esperaba la degradación de la esculina con la presencia de un color verde olivo oscuro hasta negro (Julio et al., 2014).

Prueba de la catalasa: se realizó de una colonia directa de agar sangre colocada en un portaobjetos que tiene solución de peróxido de hidrógeno al 2%, donde no debía observarse aparición de burbujas (BAM, 2016).

Tinción de gram: el resultado esperado debía ser color morado que representa una bacteria gram + y observar al microscopio cocos en cadena.

Staphylococcus aureus.

Después de su incubación en APB se procedió a inocular en agar Baird Parker, donde se esperó un crecimiento de colonias redondas, negras y con un halo transparente característico de esta especie.

Prueba de la catalasa: se realizó de una colonia directa de agar Baird Parker colocada en un portaobjetos que tiene solución de peróxido de hidrógeno al 2%, donde no debía observarse aparición de burbujas (BAM, 2016).

Procedimiento: Se colocaba una colonia crecida en un portaobjetos de vidrio y se agregaba una gota de peróxido de hidrógeno al 3% sobre esta, luego se observaba burbujeo inmediato y vigoroso debido a la producción de oxígeno gaseoso.

Estafilococos son catalasa positivos, mientras que estreptococos y enterococos son catalasa negativos (Winn, et al., 2008).

Prueba de coagulasa: se transfirieron las colonias sospechosas de *S. aureus* a pequeños tubos conteniendo 0.2-0.3 ml de caldo BHI y se emulsionaron a fondo; se incubó en suspensión por 18-24 horas a 35-37°C, luego se le agregó 0.5 ml de plasma al cultivo BHI y se mezcló profundamente;

se incubó a 35-37°C durante 6 horas. Se examinó la formación de un coágulo (BAM, 2016).

Tinción de gram: el resultado esperado debía ser color morado que representa una bacteria gram + observando al microscopio cocos en racimo.

Escherichia coli

Luego de haber inoculado en APB durante 24 horas, se procedió a realizar las siguientes pruebas:

VRBA: de APB se sembró por placa vertida en agar bilis rojo violeta (VRBA) incubado en aerobiosis a 35°C por 18-24 h. (debían crecer colonias planas color rosa con decoloración del medio) (BAM, 2016).

Prueba confirmatoria de coliformes fecales (EC): se inoculó con tres asadas de cada colonia positiva a VRBA un tubo que contenía 10 ml de caldo EC y tubo de Durham, para comprobar la presencia de coliformes fecales. Se incubó durante 24-48 horas a 44.5°C, luego del periodo de incubación se observaron los tubos. Si había turbidez y producción de gas, la prueba se consideraba positiva (BAM, 2016).

Prueba confirmativa para *Escherichia coli* (EMB, Rapid HiCrome™ Coliform Agar y Chromocult® Agar): se tomó una asada de cada uno de los tubos positivos en caldo EC y se sembró por estría cruzada en agar eosina azul de metileno (EMB), se incubaron las placas invertidas a 35°C por 18-24 h, se seleccionaron dos colonias de cada placa con la siguiente morfología colonial: colonias planas con o sin brillo metálico (EMB). Si no había colonias con morfología típica, se probó una o más colonias lo más parecido *E. coli*, para realizar las pruebas de morfología microscópica, se seleccionaron colonias características de *E. coli* y se sembraron por estría cruzada en agar Rapid Hi-Coliform y se incubaron las placas a 37°C por 18-24 h. se hizo la observación macroscópica en presencia de luz ultravioleta, el cual presenta un color verde fluorescente. Para las muestras sembradas en chromocult se observaba un crecimiento de colonias azul o violeta (BAM, 2016).

Tinción gram: el resultado esperado debía ser

color rosado que representa una bacteria gram - observando al microscopio la presencia de bacilos cortos o cocobacilos (Camacho et al., 2009).

Mantenimiento de aislados para evaluación de sensibilidad/ resistencia

Todas las bacterias aisladas fueron conservadas en Tripticasa Soya Agar (TSA) en refrigeración hasta la realización de las pruebas de sensibilidad a los antimicrobianos.

Prueba de sensibilidad de las bacterias a antibiótico (método de discos por difusión)

Los antibióticos evaluados fueron: ampicilina (AMP), amoxicilina con ácido clavulánico (AMC), enrofloxacin (ENR), gentamicina (CN), neomicina (N) y penicilina G (P). Estos antibióticos son los utilizados en el tratamiento de la mastitis subclínica en las ganaderías en estudio.

Preparación del inóculo: se suspendieron de 3-5 colonias de la bacteria en estudio (cultivo reciente en TSA no mayor a 24 horas) a la escala 0.5 de McFarland.

Inoculación de placas: se impregnó un hisopo estéril en la suspensión, y se removió el exceso de líquido rotando el hisopo sobre la pared interior del tubo. Se inoculó la superficie de las placas con agar Müller-Hinton y se estrió en tres direcciones distintas, inoculando toda la placa uniformemente (Erna, 2002).

Aplicación de sensidisco: Los discos se colocaron sobre la superficie del agar Müller-Hinton con ayuda de una pinza estéril haciendo leve presión para asegurar el contacto completo del disco con el agar, la cantidad de los discos dependía del diámetro de la caja Petri, siendo así 12 unidades en placas de 150 mm de diámetro y 5 unidades en placas de 100 mm de diámetro, con una separación de 24-25 mm (del centro de un sensidisco al otro más cercano).

Incubación: se incubaron en aerobiosis y anaerobiosis (*Streptococcus spp*) a 35°C por 24 horas posterior a la aplicación de los discos (Erna, 2002).

Lectura e interpretación de resultados: después del periodo de incubación, se midió el diámetro de las zonas (Figura 1) de completa inhibición con un calibrador o pie de rey. Se observó con luz y con fondo negro, para poder visualizar mejor el halo. La interpretación de los diámetros de inhibición fue interpretada según las tablas propuestas por Clinical & Laboratory Standards (NCCLS, 2002).

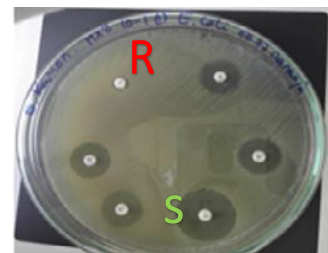


Figura 1. Placa con resultados sensibles y resistentes

Análisis de datos

El efecto de tres selladores sobre la incidencia de mastitis subclínica en dos ganaderías y tres periodos, se evaluó mediante la prueba de Chi-cuadrada. Se utilizó el programa IBM SPSS STATISTICS versión 25 y con dos grados de libertad y una probabilidad de 5%. Los datos de aislamientos y antibiogramas se presentan en cuadros y gráficos que son descritos y discutidos en relación con la literatura pertinente y las condiciones del estudio. Los aislamientos se presentaron como número de positivos y negativos en relación con las muestras analizadas para cada bacteria en una tabla de contingencia e interpretada mediante estadística descriptiva.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Prevalencia de mastitis subclínica y efectividad de los selladores

Se determinaron los resultados de la prueba de California Mastitis Test (CMT) para mastitis subclínica en 360 totales por las dos ganaderías. Los valores globales de resultados para CMT en las vacas incluidas en el estudio, independientemente del sellador usado, se muestran en el Cuadro 2 y se resumen en el Figura 2. Estos corresponden a 310 (86.11%) casos negativos y 50 (13.88 %) casos positivos.

Cuadro 2. Resultados de prueba California mastitis Test (CMT) en vacas en ordeño en dos ganaderías lecheras de Sonsonate, El Salvador.

Vacas / Ganadería	Vacas positivas		Vacas negativas		TOTAL
	Casos	%	Casos	%	Casos
Ganadería 1	29	16.11	151	83.89	180
Ganadería 2	21	11.66	159	88.33	180
TOTAL	50	13.88	310	86.11	360

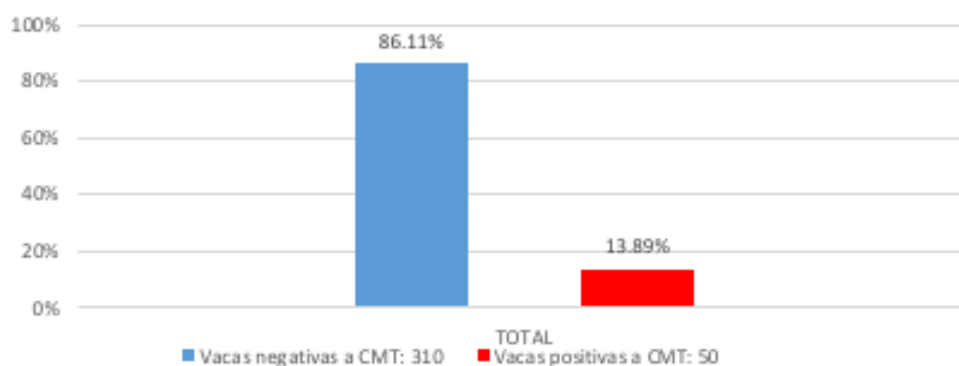


Figura 2. Porcentaje de vacas totales en estudio positivas y negativas a prueba CMT (n=360).

Se observó que los selladores en estudio presentaron niveles de protección aceptables contra mastitis, lo que permitió solamente entre un 11.66% - 16.11% de incidencia de mastitis subclínica en las vacas del estudio en conjunción con los pasos de ordeño

higiénico. En el Figura 3, se presenta el resultado global de las dos ganaderías y los tres periodos para los selladores en estudio. El nivel de protección fue similar entre ellos con un rango de 82.5% a 89.17%.

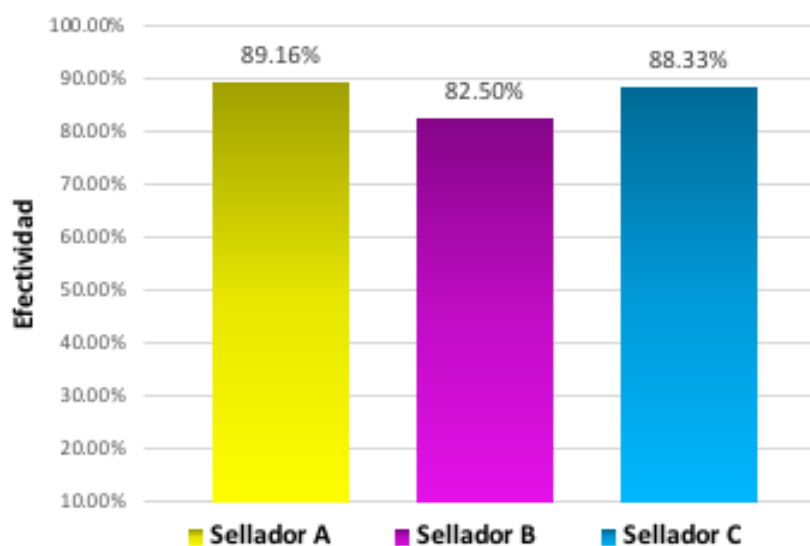


Figura 3. Porcentaje de vacas con prueba CMT negativa después de 3 rotaciones de 21 días de uso de diferentes selladores de pezón

La prueba de chi cuadrado dio como resultado un valor calculado de 1.10, que es menor al valor de tabla 5.99 (a una probabilidad de 0.05), por lo tanto, se asume que el efecto de los diferentes selladores sobre la presentación de casos nuevos de mastitis subclínica no es significativo. Lo que se interpreta que cualquiera de ellos tendrá un efecto similar sobre el control de la mastitis subclínica.

Según el National Mastitis Council (Tirante, 2007), para que un sellador de pezón pueda considerarse eficaz debe reducir el porcentaje de nuevas infecciones intramamarias en más del 40%. Chávez (2010), afirma que está suficientemente comprobado que la práctica de sellado disminuye en un 50% las nuevas infecciones en el hato cuando se realiza con un producto de eficacia probada. Los resultados de esta investigación muestran que se puede evitar los nuevos casos de mastitis en un porcentaje superior al 80% cuando se usa los selladores evaluados en este estudio.

En un estudio realizado en Costa Rica, los selladores de barrera de pezón a base de Iodo-povidona protegieron un 89.65%, también observaron que el sellador disminuyó en un 66% las infecciones causadas por *Staphylococcus aureus* y en un 100% las causadas por coliformes fecales (Fernández et al., 2008).

En México un estudio en el que se trabajó con 222 animales alojados en corrales húmedos y sucios reveló que al hacer la aplicación de un sellador de barrera permitió nada más un 3% de casos de mastitis en un periodo de 18 días de tratamiento (Caro, 2011); estas condiciones ambientales son similares a las del presente estudio, para el cual los animales siempre llegaban al ordeño con una capa de lodo y excretas en la parte ventral de su cuerpo.

En un estudio realizado en Uruguay, se evaluó la incidencia de las infecciones intramamarias comparando dos selladores de barrera a base de yodo en tres establecimientos, los resultados (63% y 60%) mostraron que no hubo diferencias significativas en la prevención de infecciones intramamarias entre los

dos selladores evaluados (Pagliano 2016).

Aislamientos bacterianos

Se buscó aislar tres de las bacterias importantes para mastitis en vacas positivas a CMT, para conocer si son las más comunes en las ganaderías salvadoreñas. De las 60 muestras de vacas positivas a CMT, se descartaron trece debido a que los animales estaban en tratamiento antibiótico al momento del muestreo, lo que interferiría con el aislamiento, debido a esto se trabajó con 47 muestras de este total se obtuvieron 94 aislamientos de microorganismos considerados de interés para la mastitis subclínica en esta investigación.

Los porcentajes correspondientes de aislamientos fueron *Streptococcus* spp. (16.48%), *Staphylococcus aureus* (21.97%), *Staphylococcus coagulasa negativa* (18.68%) y *Escherichia coli* (42.85%) (Cuadro 3). Es de notar que *Streptococcus agalactiae* fue buscado en este trabajo pues en la literatura y estudios previos a esta investigación lo señalan como uno de los principales agentes etiológicos en mastitis (Wolter et al., 2015); sin embargo, no se encontró ningún aislado correspondiente a este microorganismo. Por otra parte, del total de las 47 muestras positivas a CMT, se aisló *Streptococcus* spp. en 31.91%, *Staphylococcus* spp. en 40.65 %, y *Escherichia coli* en 68.08 % (Cuadro 3).

A pesar que no se identificó *Streptococcus agalactiae*, la prevalencia de otras especies de *Streptococcus* fue de 16.48% en este estudio (Cuadro 3), lo que es comparable con investigaciones cuyos resultados son similares en América Latina, por ejemplo en Brasil la prevalencia de *Streptococcus* spp. en hatos con ordeño mecánico fue de 12,9% (Ruiz et al., 2011). En Argentina fue de 12,5% (Calvinho y Tirante, 2005), Colombia de 4,1% (Becerra et al., 2014) y 19.5% reportado en Uruguay (Gianninchi et al., 2014).

De los tres géneros de interés, *Staphylococcus aureus* se presentó en un 21.97% y 18.68% para *Staphylococcus coagulasa negativo* (Cuadro 3). En un trabajo reciente en El Salvador, Perla y Herrera (2017)

Cuadro 3. Microorganismos aislados en muestras de leche provenientes de vacas positivas a CMT. (Total de pruebas = 360, total de muestras positivas = 47).

Microorganismos aislados.	CMT (+)	Muestras positivas para cada microorganismo		Aislados obtenidos de cada Microorganismo				
		No.	%	A*	B*	C*	TOTAL	%
<i>Streptococcus agalactiae</i>	47	0	0	0	0	0	0	0.00%
<i>Streptococcus spp</i>	47	15	31.91%	3	6	6	15	16.48%
<i>Staphylococcus aureus</i>	47	16	34.04%	4	9	3	23	21.97%
<i>Staphylococcus coagulasa negativa</i>	47	17	36.17%	6	6	5	17	18.68%
<i>Escherichia coli</i>	47	32	68.08%	6	14	12	39	42.85%
TOTAL							94	100.00%

*A = Tensolac; B = Io Shield; C= Scud. Se aislaron dos de los tres microorganismos de interés en la investigación, y para el caso de los géneros *Streptococcus* y *Staphylococcus* se identificaron de manera general otras especies no contempladas inicialmente en el estudio.

reportaron que *Staphylococcus aureus* se encontró en un 22.61% de todos los aislamientos de muestras de leche provenientes de ganaderías con ordeño manual, lo que se asemeja a lo encontrado en estudio actual con ordeño mecánico.

Diferentes estudios han señalado a *Staphylococcus aureus* como uno de los principales causantes de mastitis. En Montería, Colombia, se evaluaron 2,854 vacas de 40 fincas especializadas y encontraron a *S. aureus* (29.09%) como principal patógeno (Calderón y Rodríguez, 2008). En Brasil se estudiaron 185 vacas en 11 propiedades productoras de leche bovina del estado de Pernambuco; seis con ordeño manual y cinco con ordeño mecánico (Ruiz et al., 2011), determinando una prevalencia de *Staphylococcus spp.* en ordeño mecánico del 36.4%. Otros reportes de prevalencias de *S. aureus* en Suramérica son 13.9% (Calvinho y Tirante, 2005), 74.4% (Mendoza et al. 2017), y 6.6 % (Becerra et al., 2014). Los bajos valores encontrados en los últimos dos estudios probablemente se deban a que fueron desarrollados en ganaderías con buen nivel tecnológico y de higiene.

Escherichia coli presentó una prevalencia de 38.55%

en esta investigación (Cuadro 3), un valor mayor al reportado por otra investigación realizada en El Salvador con una prevalencia de *E. coli* (17.85%) (Perla y Herrera 2017). Probablemente el valor mayor en el estudio actual se deba a que las vacas estaban estabuladas con una densidad alta que permitía mayor contacto con material fecal, mientras que en el otro caso se usaron ganaderías más extensivas. Otros estudios han reportado prevalencias de *E. coli* de 13.3% en Colombia (Mendoza et al., 2017) y se observa un menor porcentaje de presentación a diferencia de los resultados obtenidos en El Salvador.

E. coli se encuentra en el ambiente, no forma parte de la microbiota normal del ubre de la vaca. Estos microorganismos se consideran contaminantes medioambientales y han sido señalados como agentes causales hasta en un 97.5% en otras explotaciones en regiones tropicales (Olivarez et al., 2015). Por el contrario de los agentes patógenos contagiosos de la mastitis, se localizan principalmente en el medio que rodea a la vaca. Las bacterias pertenecen a la microbiota normal del ambiente y se encuentran en cada establo (Wolter et al., 2015).

Es posible que estos patógenos estén aumentando debido a las fallas observadas en las prácticas de prevención y control de la mastitis, como en la implementación de la higiene de la ubre antes del ordeño o la presencia de excretas en el ambiente, así como aguas encharcadas y lodazales, contaminando las zonas de descanso y la sala de ordeño. Según Calderón y Rodríguez (2008), las malas prácticas ganaderas en la implementación de las medidas profilácticas, hace que algunos de estos microorganismos puedan llegar a desarrollar signos sistémicos en la vaca e incluso, provocar la muerte.

Resultados de sensibilidad antimicrobiana a los antibióticos

De un total de 47 muestras de leche de vacas positivas a mastitis subclínica, se evaluaron los perfiles de resistencia de los microorganismos de interés aislados.

Streptococcus spp.

Basados en los datos obtenidos, los antibióticos que más eficacia tiene contra *Streptococcus spp.*, son: gentamicina (CN) y enrofloxacin (ENR), ya que sus niveles de sensibilidad fueron entre el 93 - 100% (Figura 4), mientras que fue 80% sensible a neomicina (N). Diferentes autores recomiendan el uso de aminoglucósidos (entre ellos CN y N) para el tratamiento de mastitis subclínica, los resultados obtenidos en este estudio respaldan dicha recomendación.

De los antibióticos que pertenecen al grupo de los betalactámicos, se encontró el 100% de resistencia a penicilina (P), 93% a ampicilina (AMP) y 60% de resistencia para amoxicilina más ácido clavulánico (AMC). García et al. (2000), sugiere que el uso de betalactámicos (P y AMP) no es recomendable, aunque si estos antibióticos llevan ácido clavulánico tienen mayor efectividad como en el caso de (AMC) debido a que ese componente inhibe la acción de las betalactamasas, que son las enzimas bacterianas que las hacen resistentes a esta familia de antibióticos, lo que nos deja un porcentaje de sensibilidad en este

estudio de 27% para ayudar a combatir infección por *Streptococcus spp.*

Estudios realizados en Suramérica en vacas con mastitis, han mostrado resistencia de *Streptococcus spp.* a antibióticos. En Colombia se reportó resultados de 21% de resistencia a ampicilina (Cruz et al., 2007). En Paraguay, se presentó un 20% de resistencia a gentamicina, un 64% a penicilina, un 56% a ampicilina y un 88% a neomicina (Florentín, 2007). La resistencia de alto nivel frente a aminoglucósidos puede ser por mutación ribosómica o por inactivación enzimática de una adeniltransferasa. La resistencia de alto nivel se traduce en la anulación del sinergismo bactericida entre el aminoglucósido y los betalactámicos (Gilbert, 2000).

Staphylococcus aureus

Para *S. aureus* los antibióticos más efectivos fueron neomicina con 87% de sensibilidad, 78% gentamicina, amoxicilina con ácido clavulánico con 70% y enrofloxacin con 87 % de sensibilidad. Por otra parte, los menos efectivos fueron penicilina con 87% y ampicilina con 73 % de resistencia (Figura 5). La penicilina fue el antibiótico menos eficaz contra *Staphylococcus aureus* en este estudio. Para penicilina se observan resultados similares en estudios realizados en El Salvador por Perla y Herrera (2017), quienes encontraron una resistencia de 57.14% a penicilina y en Nicaragua un 16.7% de resistencia (Aguirre y Zeledón, 2007), porcentajes menores que el de esta investigación.

En Santa Fe, Argentina, Russi (2008), reportó que un 48.4% de los aislamientos fueron considerados resistentes a la penicilina. Otros reportes, han mostrado menores porcentajes en resistencias, tal es el caso de Argentina donde reporto un 22.2% (Pellegrino et al., 2011), Venezuela 12.4% (Valero et al., 2010) y El Salvador 5.71% (Arreces, 2015).

Escherichia coli

Para *E.coli* se encontró 97% de sensibilidad a gentamicina, 92% a enrofloxacin y 87.17% a

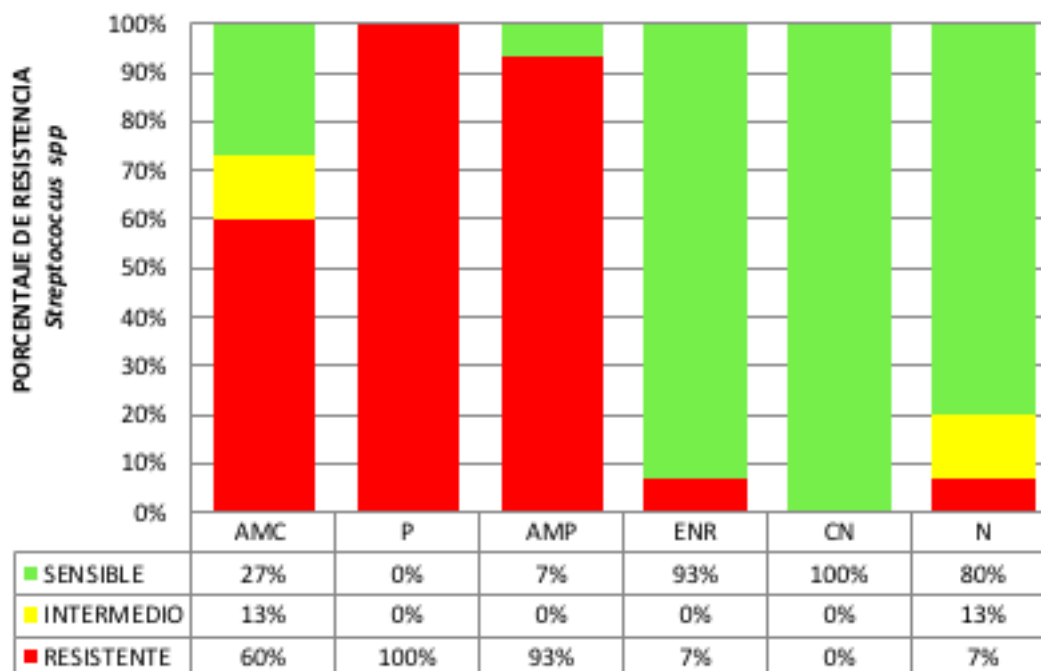


Figura 4. Perfil de sensibilidad antibiótica en aislados de *Streptococcus* spp. en muestras de leches con reacción positiva a CMT (n=15).

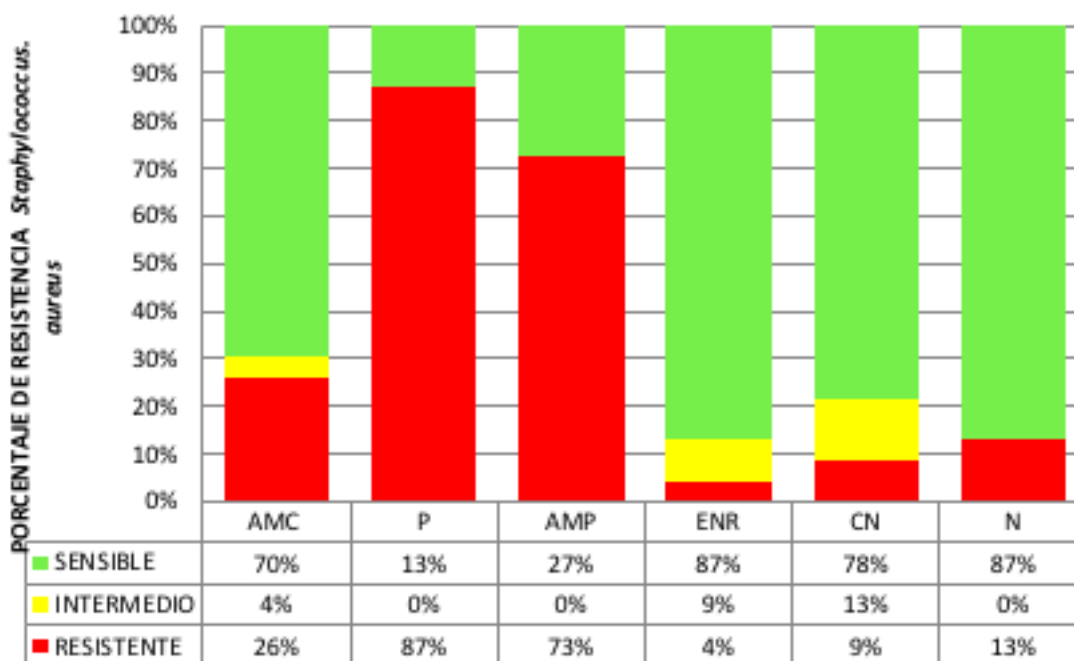


Figura 5. Perfil de sensibilidad antibiótica en aislados de *S. aureus* en muestras de leches con reacción positiva a CMT (n=16).

neomicina (Figura 4). A su vez, estos aislados presentaron mayores resistencias a penicilina 100% y ampicilina 58.97%, ambos betalactámicos; y una menor resistencia a amoxicilina más ácido clavulánico 28% (Figura 6).

En este estudio de sensibilidad en placa, los aislamientos de *E. coli* mostraron elevada sensibilidad a gentamicina, enrofloxacina y neomicina. Sumano y Ocampo (2008), señala que la acción de algunos antibióticos como gentamicina puede ser limitada

por la capacidad del fármaco de actuar en la zona, su uso no es viable porque no alcanza concentraciones adecuadas en la glándula mamaria y tiene efectos nulos en presencia de leche u otras secreciones. Por lo tanto, los resultados utilizados en campo podrían no coincidir con los resultados en este estudio; debido a que estos antibióticos resultaron ser sumamente efectivos contra *E. coli*, pero según este autor en la práctica no sería viable su uso.

Estudios previos han reportado resistencias de *E. coli* a los antibióticos como a ampicilina (76.5%) (Jiménez et al., 2017) y a penicilina (93%) (Perla y Herrera, 2017).

El desarrollo de resistencia a antibióticos en bacterias causantes de mastitis subclínica en las ganaderías, puede relacionarse al uso indiscriminado de antibióticos que no son recetados, controlados o supervisados por médicos veterinarios, además de cambios genéticos o mecanismos adaptativos de las bacterias para enfrentar la acción de éstos.

En el caso de los antimicrobianos, se producen problemas cuando se emplean para tratar enfermedades que no corresponde utilizarlos en dosis inapropiadas, durante periodos de tiempo inadecuado y en preparación farmacéutica incorrecta (OMS, 2001).

Las bacterias causantes de mastitis y el desarrollo de resistencia a los antibióticos podrían tener implicaciones en la salud humana. El abuso y el uso indebido de antibióticos en animales y humanos están contribuyendo al aumento de la amenaza que representa la resistencia a los antimicrobianos. Algunos tipos de bacterias causantes de infecciones humanas graves, ya son resistentes a la mayoría o a la totalidad de los tratamientos disponibles, lo que deja pocas alternativas prometedoras en fase de investigación (Lindmeier, 2017).

Los resultados de este estudio muestran que los antibióticos penicilina y ampicilina, han perdido eficacia en el control de bacterias importantes para mastitis. Los niveles de resistencia encontrados para penicilina fueron 100% en *Streptococcus* spp, 87% para *Staphylococcus aureus* y 100% para *Escherichia coli*, mientras que para ampicilina la resistencia fueron 93% *Streptococcus* spp., 73% para *Staphylococcus aureus* y 58.97% *Escherichia coli*. Por lo tanto, su uso a nivel de campo podría tener un impacto limitado en el control de la mastitis. Resultado esperado para *E. coli* pues naturalmente puede producir enzimas betalactamasas cromosómicas o extra cromosómicas que le confieren resistencia a los betalactámicos (Miranda, 2013).

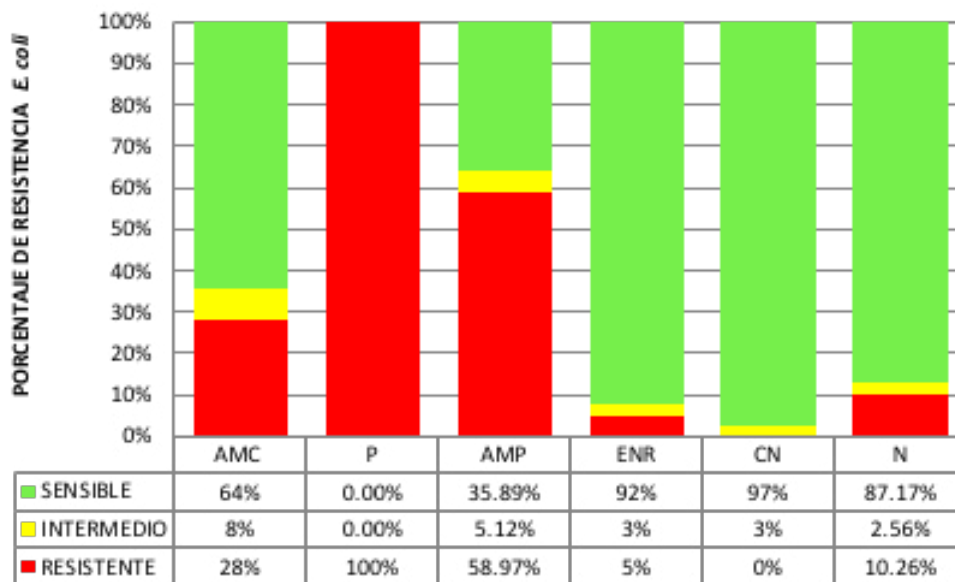


Figura 6. Perfil de sensibilidad antibiótica en aislados de *E. coli* en muestras de leches con reacción positiva a CMT (n=47).

Resultados de multirresistencia bacteriana a antibióticos

Aquellos microorganismos resistentes a uno o más clases de antibióticos son clasificados como multirresistentes. La Figura 7, muestra los porcentajes obtenidos por bacteria, a las distintas multirresistencia que se obtuvieron de las tres familias a las que pertenecen los antibióticos en estudio.

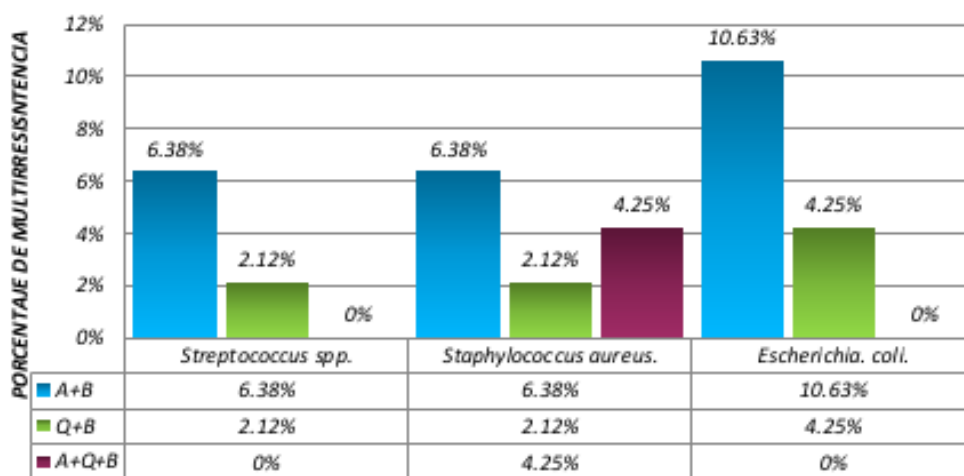
El perfil de multirresistencia obtenido para los 15 aislados del género de *Streptococcus* indicó que tres de ellos (6.38%) presentaron multirresistencia a la combinación de las familias de los betalactámicos junto con aminoglucósidos, también hubo una muestra que presentó multirresistencia a betalactámicos y quinolonas, siendo los antibióticos más resistentes, los de la familia de los betalactámicos.

De las bacterias aisladas de las muestras de leche con mastitis subclínica, se identificaron cepas multirresistentes de *S. aureus* a dos interacciones de familias e incluso a la multirresistencia de las tres familias de antibióticos en estudio, siendo sus valores para betalactámicos y quinolonas de 2.12% y también para betalactámicos y aminoglucósidos, con un 6.38%, dentro de las que los antibióticos con más multirresistencia fueron: amoxicilina más

ácido clavulánico, ampicilina y penicilina para el grupo de los betalactámicos y gentamicina para los aminoglucósidos.

En Argentina, se reportó un 19% de cepas de *S. aureus* con multirresistencia a las familias de betalactámicos y aminoglucósidos (Pellegrino et al., 2011), mostrando similitud con el presente estudio. Perla y Herrera (2017), mencionan que las bacterias que evaluaron presentaron multirresistencia, y el 87% mostró resistencia a antibióticos pertenecientes al grupo de los betalactámicos.

Para el género *Escherichia coli*, se lograron identificar siete aislados multirresistentes a dos familias de antibióticos evaluados, para los que la combinación de betalactámicos con aminoglucósidos fue la más alta con un 10.63% y quinolona más betalactámicos con 4.25%; el grupo de los betalactámicos es la familia con más resistencia bacteriana observada, y la penicilina resistente en el 100% de los aislados. Entre algunos mecanismos de resistencia que se le pueden atribuir a *Escherichia coli*, está la producción de betalactamasas, enzimas que se caracterizan por hidrolizar el enlace amida del núcleo betalactámico, inactivando de esta manera el antibiótico. También hay mutaciones puntuales que generan el cambio de aminoácidos en la enzima blanca del antibiótico (Mosquito et al, 2011).



A= Aminoglucósidos= Gentamicina; Neomicina B= Betalactámicos = Amoxicilina + A. Clavulánico; Penicilina; Ampicilina Q= Quinolona = Enrofloxacin

Figura 7. Perfil de multirresistencia antibiótica aislados de muestras de leches con reacción positiva a CMT (N= 15 S. spp; N= 16 S. aureus; N= 47 E.coli).

CONCLUSIONES

Los tres selladores a base de yodo evaluados en esta investigación demostraron tener una buena tasa de protección (86.12%) en la prevención de la mastitis subclínica; independientemente de su formulación, produjeron un nivel de protección similar en la presentación de casos nuevos de mastitis subclínica en vacas.

Streptococcus agalactiae no es uno de los patógenos más prevalentes en los casos de mastitis encontrados en las ganaderías en estudio. Los resultados de esta investigación sugieren que existe contaminación ambiental en el proceso de ordeño, ya que el mayor agente etiológico aislado fue *Escherichia coli* que es una bacteria ambiental.

Existe resistencia a antibióticos en *Streptococcus* spp., *Staphylococcus aureus* y *Escherichia coli* en las ganaderías estudiadas, principalmente para la familia de betalactámico como penicilina, ampicilina y en menor medida en amoxicilina más ácido clavulánico. Y a su vez, existen cepas que presentan diferentes porcentajes de multirresistencia antibiótica entre las familias, siendo el principal para aminoglucósidos (gentamicina y neomicina) más betalactámicos (penicilina, ampicilina y amoxicilina más ácido clavulánico) en las tres bacterias estudiadas.

BIBLIOGRAFIA

- Aguirre, J.; Zeledón, A. 2007. Aislamiento e identificación fenotípica de *Staphylococcus aureus* mediante la técnica de fingerprint (PHP) a partir de leche bovina afectada con mastitis subclínica en seis fincas del municipio de León, durante el periodo mayo 2005 - mayo 2006, León, Nicaragua, 2007, 59 p. en línea, consultado el 25 de octubre de 2017, Disponible en: <http://riul.unanleon.edu.ni:8080/jspui/bitstream/123456789/1042/1/203954.pdf>
- Arreces Martínez, G. 2015. Determinación de la multirresistencia a los antibióticos en cepa de *Staphylococcus aureus*, aislada de leche cruda de vaca obtenida de una lechería del departamento de Santa Ana, Universidad de El Salvador, 151 P. en línea, consultado el 6 de junio de 2017, disponible en: <http://ri.ues.edu.sv/8772/1/16103639.pdf>
- BCR, (Banco Central de Reserva). 2016. Documento de trabajo; La transformación productiva en el sector agropecuario: una herramienta para el crecimiento económico en el área rural de El Salvador, segundo semestre de 2016, Banco central de reserva de El Salvador, 54 p. En línea, consultado el 17 de junio de 2017, Disponible en: <https://www.bcr.gov.sv/bcrsite/uploaded/content/category/1105524910.pdf>
- BAM (Microbiological Methods & Bacteriological Analytical Manual). 2016. 8th Edition, Revision A, 1998, en línea, Disponible en: <http://www.fda.gov/Food/FoodScienceResearch/LaboratoryMethods/ucm2006949.htm> consultado el 22 de noviembre de 2016
- Becerra, A.; Roy, J.; Carvajal.; Dallos-Baez, A. 2014. Prevalencia de mastitis subclínica bovina y su etiología infecciosa en fincas lecheras del altiplano boyacense (Colombia) Revista Científica, vol. XXIV, núm. 4, julio-agosto, 2014, 7 p. en línea, consultado el 22 de noviembre de 2016, Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/959/95931404001.pdf>
- Chávez, J. 2010. Mastitis Bovina, su control y prevención es una tarea permanente. Facultad de Ciencias Veterinarias de la UBA, Comisión Técnica de ALMAST, Argentina. 19 p. en línea, Disponible en: http://www.aprocal.com.ar/wp-content/uploads/mastitis_bovina.htm.pdf
- Calderón, A.; Rodríguez, V. 2008. Prevalencia de mastitis bovina y su etiología infecciosa en sistemas especializados en producción de leche en el altiplano cundiboyacense (Colombia). 2008, Rev Colomb Cienc Pec 21: 582-589. En línea, consultado en marzo de 2016, Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/2950/295023543006.pdf>
- Callejo Ramos, A. 2010. Desinfectantes de pezones (en línea). Frisona Española N° 178 (94-95), en línea, Consultado 26 oct. 2016. Disponible en http://oa.upm.es/7650/2/INVE_MEM_2010_80160.pdf

- Calvinho, L. F. 2010. Higiene pre-ordeño y desinfección de pezones, INTA, APROCAL, 2010, 43 p. en línea, Consultado el: 21 de Noviembre de 2018, Disponible en: http://www.aprocal.com.ar/wp-content/uploads/Desinfeccion_pezones_Calvinho.pdf
- Calvinho, L. F.; Rafaela, E.E.A.; INTA F.C.V.; Esperanza, U.N.L. 2010 Tratamiento de mastitis clínicas y manejo de antibióticos en el tambo, APROCAL, 11 p. en línea, Agosto, 2010, Disponible en: http://www.aprocal.com.ar/wp-content/uploads/manejo_antibioticos.htm.pdf
- Calvinho, L. F.; Tirante, L. 2005 Prevalencia de microorganismos patógenos de mastitis bovina y evolución del estado de salud de la glándula mamaria en Argentina en los últimos 25 años, INTA, Santa Fe, Buenos aires, 2005, 12 p. En línea, consultado en agosto de 2017, Disponible en: <https://bibliotecavirtual.unl.edu.ar/publicaciones/index.php/FAVEveterinaria/article/download/1413/2261/>
- Camacho, A.; Giles, M.; Ortegón, A.; Palao, M.; Serrano, B.; Velázquez, O. 2009. Técnicas para el Análisis Microbiológico de Alimentos. 2ª ed. Facultad de Química, UNAM. México. 17 p. En línea, consultado en junio de 2017, Disponible en: http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/TecnicBasicas-Colif-tot-fecales-Ecoli-NMP_6529.pdf
- Caro García, J.A. 2011. Disminución de la incidencia de mastitis en ganado vacuno con la aplicación de un sellador de barrera, Universidad autónoma agraria "Antonio Narro" unidad laguna división regional de ciencia animal, Torreon, Coahuila, Mexico, 2011. 63 p. En línea, consultado en junio de 2017, Disponible en: <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/3179/JESUS%20ARTURO%20CARO%20GARC%20CDA.pdf?sequence=1>
- Cruz, A.; Estepa, E.; Hernández, L.; Sanabria, V. 2007. Identificación de bacterias causantes de mastitis bovina y su resistencia ante algunos antibacterianos, Colombia, 2007, 8 p. En línea, consultado en octubre de 2017, Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/636/63646040004.pdf>
- Erna, T. 2002. Condiciones para un buen estudio de susceptibilidad mediante test de difusión en agar, Revista chilena de infectología, Rev. chil. infectol. v.19 supl.2 Santiago 2002, 5 p. En línea, Disponible en: <https://scielo.conicyt.cl/pdf/rci/v19s2/art01.pdf>
- Fernández, M.; Ramírez, J.; Chaves, C.; Arias, M. 2008. Disminución en la incidencia de mastitis en ganado vacuno con la aplicación de un sellador de barrera experimental. Agronomía Costarricense 32(1): 107-112. En línea, Disponible en: https://www.mag.go.cr/rev_agr/v32n01-107.pdf
- Florentín A. 2007. Perfil de resistencia in vitro a antimicrobianos de cepas causantes de mastitis aisladas de leche cruda bovina en establecimientos de pequeña y mediana producción, Paraguay, 2007, 7 p. en línea, Disponible en: <http://scielo.iics.una.py/pdf/iics/v5n1/v5n1a05.pdf>
- García, J.; Canton, R.; Garcia, E.; Gomez, L.; Martínez, L.; Rodriguez, C.; Vila, J. 2000. Procedimientos en microbiología clínica. Métodos básicos para el estudio de la sensibilidad a los antimicrobianos, 54 p. en línea, consultado en junio del 2019. Disponible en: <https://www.seimc.org/contenidos/documentoscientificos/procedimientosmicrobiologia/seimc-procedimientomicrobiologia11.pdf>
- Giannechini, R.; Concha, C.; Delucci, I.; Gil, J.; Salvarrey, L.; Rivero, R. 2014. Mastitis bovina, reconocimiento de los patógenos y su resistencia antimicrobiana, veterinaria (Montevideo) Vol. 50 Uruguay, 2014. 29 p. en línea, Disponible en: <http://www.revistasmvu.com.uy/index.php/smvu/article/view/132/75>
- Gilbert, D. 2000. Aminoglycosides. En: Mandell GL, Bennett JE, Dolin R, editors. Mandell, Douglas, and Bennett's Principles and Practice of Infectious Diseases, 5th ed. Philadelphia: Churchill Livingstone, 2000; p. 307-36, en línea, consultado el 20 de junio de 2019. Disponible

- en: <http://www.sld.cu/galerias/pdf/sitios/apuacuba/a6-aminogluocosidos.pdf>
- Julio, J.A.; Hernández, J.C.; Suárez, M.C. 2014. Identificación manual y automatizado de aislamientos de la familia Streptococcacea proveniente de muestras de leches de vaca, Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/272621471_Identificacion_Manual_y_Automatizado_de_Aislamientos_de_la_Familia_Streptococcacea_Provenientes_de_Muestras_de_Leche_de_Vacas_con_Mastitis
- Jiménez, R.; Gudino, L.; Aguilar, J.; Loeza. 2017. Caracterización molecular de *Escherichia coli* resistente a antibióticos aislada de mastitis bovina en Michoacán, México. Rev. mex. de cienc. pecuarias [online]. 2017, vol.8, n.4 [citado 2018-09-23], pp.387-396. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11242017000400387
- Lindmeier, C. 2017. Responsable de prensa OMS, Dejemos de administrar antibióticos a animales sanos para prevenir la propagación de la resistencia a los antimicrobianos, comunicado de prensa, 2017, Consultado en mayo de 2018, disponible en: <https://www.who.int/es/news-room/detail/07-11-2017-stop-using-antibiotics-in-healthy-animals-to-prevent-the-spread-of-antibiotic-resistance>
- Merck 2006. Manual de veterinaria. Sexta edición, océano/ centrium, editorial océano Barcelona, ES, 2006. Vol. I; 1307 p.
- Mendoza, J.; Vera, A.; Peña, L. 2017. Prevalencia de mastitis subclínica y microorganismos asociados y factores de riesgo identificados en hatos de la provincia de Pamplona, norte de Santander, Revista Médica Vet. Zoot. 64, 2017, Colombia, 14 p. en línea, disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/rfmvz/v64n2/v64n2a02.pdf>
- Miranda García, M. A. 2013. *Escherichia coli* portador de betalactamasas de espectro extendido. Resistencia, laboratorio de microbiología Hospital general básico de la defensa San Carlos, San Fernando, Cádiz, España. 5 p. en línea, consultado en abril de 2019, disponible en: <http://scielo.isciii.es/pdf/sm/v69n4/original2.pdf>
- Mosquito, S.; Ruiz, J.; Bauer, J.; Ochoa, T. 2011. Mecanismos moleculares de resistencia antibiótica en *Escherichia coli* asociada a diarrea. Universidad Peruana Cayetano Heredia. Lima, Perú, 9 p. en línea Consultado en Julio, 2019. Disponible en: <https://rpmesp.ins.gob.pe/index.php/rpmesp/article/view/430>
- National committee for clinical laboratory standards (NCCLS). 2002. Document M39-A. Analysis and Presentation of Cumulative Antimicrobial Susceptibility Test Data; Approved Guideline. NCCLS document M39-A. NCCLS, 940 West Valley Road, Suite 1400, Wayne, Pennsylvania 19087-1898, USA, 30 pp.
- Olgún, A.; Bernal. s.f. Enfermedades de la glándula mamaria, universidad nacional autónoma de México facultad de medicina veterinaria y zootecnia, asociación mexicana de médicos veterinarios especialistas en bovinos, 11p. en línea, consultado el 27 de julio de 2016, disponible en: http://www.ammveb.net/clinica/enfermedades_de_la_glandula_mamaria.pdf
- Olivares, J.; Kholif, A.; Rojas, S.; Elghandour, M.; Salem, A.; Bastida, A.; Velázquez, D.; Cipriano, M.; Camacho, L.; Fresán, M.; DiLorenzo, N. 2015. Prevalence of bovine subclinical mastitis, its etiology and diagnosis of antibiotic resistance of dairy farms in four municipalities of a tropical region of México. Trop Anim Health Prod. 47(8): 1497-1504. Doi: 10.1007/s11250-015-0890-8. En línea, consultado el 1 de marzo de 2018, disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26255183>
- OMS, Organización Mundial de la Salud. 2001. Estrategia mundial de la OMS para contener la resistencia a los antimicrobianos, 2001, 99p. En línea, consultado en marzo de 2017, disponible en: http://www.antibioticos.mscbs.gob.es/PDF/resist_OMS_estrategia_mundial_contra_resistencias.pdf
- OPS/OMS, Organización Panamericana de la Salud/ Organización Mundial de la Salud. 2017. Dejar de administrar antibióticos en animales sanos

- puede prevenir la propagación de resistencia a los antibióticos. Ginebra, Suiza. Consultado en Diciembre, 2017, disponible en: https://www.paho.org/hq/index.php?option=com_content&view=article&id=13897:stop-using-antibiotics-in-healthy-animals-to-prevent-the-spread-of-antibiotic-resistance&Itemid=135&lang=es
- Pagliano, S. 2016. Comparación de la eficacia de dos selladores en la prevención de las infecciones intramamarias, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay, 2016, 29 p. en línea, disponible en: <https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/10392/1/FV-31702.pdf>
- Pellegrino, M.; Frola, I.; Odierno, L.; Bogni, C. 2011. Mastitis Bovina: Resistencia a antibióticos de cepas de *Staphylococcus aureus* asiladas de leche. (en línea) Revista electronica de veterinaria, vol. 11, n° 7, año 2011, 15 p. en línea, consultado en Junio del 2019. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/636/63622567006.pdf>
- Perla, A.; Herrera, M. 2017. Evaluación in vitro de la multirresistencia antimicrobiana de bacterias causantes de mastitis subclínica y mastitis clínica identificadas en vacas en ordeño manual en tres ganaderías del Municipio de Agua Caliente, Chalatenango, El Salvador, 2017, 93 p.
- Ruíz, R. 2016. Mastitis bacteriana en ganado bovino: etiología y técnicas de diagnóstico en el laboratorio, departamento de medicina y zootecnia de rumiantes (en línea). Mexico, UNAM. 15 p Consultado 27 jul. 2016 Disponible en http://www.ammveb.net/articulos/mastitis_bacteriana.pdf
- Ruiz, A.; Ponce, G.; Gomes, R.; Mota, E.; Sampaio, E.; Lucena, S. 2011. Prevalencia de mastitis bovina subclínica y microorganismos asociados: Comparación entre ordeño manual y mecánico, en Pernambuco, Brasil, Revista Salud animal volumen 33 No 1, 2011, 8 p. en línea, disponible en: <http://scielo.sld.cu/pdf/rsa/v33n1/rsa09111.pdf>
- Russi, N. 2008. Susceptibilidad a antibióticos de *Staphylococcus aureus* aislados de mastitis bovina, Universidad Nacional Del Litoral, Santa Fé, Argentina, 86 p. en línea, disponible en: <https://bibliotecavirtual.unl.edu.ar:8443/bitstream/handle/11185/259/tesis.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Sánchez, M.; Gutiérrez, N.; Posada, I. 2017. Prevalencia de mastitis bovina en el cañón de Anaime, región lechera de Colombia, incluyendo etiología y resistencia microbiana. Anaime, Colombia. 226 p. En línea, consultado Febrero 2018. Disponible en: <http://www.scielo.org.pe/pdf/rivep/v29n1/a22v29n1.pdf>
- Sumano, H.S. Ocampo, L. 2008. Farmacología Veterinaria, Tercera Edición, Mc Graw Hill, 1092 p.
- Tirante, L. 2007. Requisitos de un buen antiséptico para pezones, II Jornada de actualización en mastitis para técnicos, Uruguay, 2007. 6 p. en línea, consultado en agosto de 2018, Disponible en: <http://www.lactodiagnosticosur.com.ar/wp-content/uploads/2011/12/Selladores.pdf>
- Valero Leal, K.; Valbuena, E.; Chacón, F.; Olivares, Y.; Briñez, R. 2010. Patógenos contagiosos y ambientales aislados de cuartos mamarios con mastitis subclínica de alto riesgo en tres fincas del estado zulía, Maracaibo, Venezuela, 9 p. en línea, consultado en julio de 2017 Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/262479997_Patogenos_contagiosos_y_ambientales_aislados_de_cuartos_mamarios_con_mastitis_subclinica_de_alto_riesgo_en_tres_fincas_del_estado_Zulia
- Winn, H.; Allen; Janda; Koneman; Procop; Schreckenber; Woods. 2008. Koneman diagnóstico microbiológico texto y atlas en color 6a EDICIÓN, editorial médica panamericana, Madrid, España, 2008, 593 p.
- Wolter; Castañeda, V.H; Kloppert B; Zschoeck M. 2015. La mastitis bovina, Instituto estatal de investigaciones de Hesse, Universidad de Guadalajara, México, 2015, 68p. en línea, consultado en agosto de 2017 disponible en: <http://infolactea.com/wp-content/uploads/2015/03/608.pdf>



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

Artículo de investigación

Caracterización y evaluación de la sostenibilidad de la cadena de producción de marañón orgánico (*Anacardium occidentale*), en la zona del bajo Lempa, departamento de San Vicente, El Salvador

Characterization and evaluation of the sustainability of the organic cashew (*Anacardium occidentale*) production chain in the Bajo Lempa region, department of San Vicente, El Salvador

Escobar-Vásquez, D.E.¹, Rodríguez-Urrutia, E.A.¹, Lizano-Sánchez, M.L.², Orellana-Núñez MA, O.³

Correspondencia:
deevyc@yahoo.com
efrain.rodriguez@ues.edu.sv
medardolizano@yahoo.com
mario.orellana@ues.edu.sv

Presentado:
21 de septiembre de 2020
Aceptado:
12 de noviembre de 2020

- 1 Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias Agronómicas, Escuela de Posgrado y Educación Continua.
- 2 Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). Sede El Salvador, Consultor Especialista.
- 3 Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias Agronómicas, Escuela de Posgrado y Educación Continua..

RESUMEN

Al implementar sistemas de producción agrícola que buscan beneficio social y económico de la población, los recursos naturales renovables y no renovables son afectados, reducidos, modificados y a veces destruidos. En este contexto, esta investigación evalúa la sostenibilidad y caracterización de la cadena de marañón orgánico (*Anacardium occidentale*). El objetivo es realizar un análisis comparativo de la sostenibilidad de los sistemas de manejo orgánico y convencional del marañón, considerando la dimensión ambiental, económica y social, en las comunidades del Bajo Lempa. La extensión territorial aproximada es de 92.6 hectáreas en los cantones del Pacún, Las Anonas, San Carlos Lempa y Las Mesas, que corresponden al municipio de Tecoluca, departamento de San Vicente, El Salvador. Se utilizó la metodología de Marco de Evaluación de los Sistemas de Manejo de los Recursos Naturales, con la incorporación de Indicadores de Sostenibilidad, conocido como MESMIS. Dicho sistema propone una estructura flexible y adaptada a diferentes niveles de información y capacidades técnicas. Cuenta con una orientación práctica basada en un enfoque participativo que promueve la discusión y retroalimentación entre evaluadores y evaluados. Además, brinda una visión interdisciplinaria para entender de manera integral las limitantes y posibilidades de sostenibilidad en los sistemas de manejo que surgen de la intersección de procesos ambientales en el ámbito social y económico. Se realizó la comparación entre los sistemas de manejo vigentes y sistemas alternativos, procedimiento que permitió en primer lugar, examinar la efectividad de la sostenibilidad de los sistemas sociales, económicos y ambientales, en segundo lugar, identificar los puntos críticos para la sostenibilidad a fin de proponer cambios que mejoren la sostenibilidad de los sistemas. En el territorio el 90% del área comprende parcelas entre 1 a 5 hectáreas (ha); el 71% de los productores seleccionados tiene como fuente de ingreso el rubro agrícola, y de estos el 94% se dedica al cultivo de marañón. Además, se determinaron los atributos de mayor sostenibilidad de los sistemas de producción evaluados. Se generó una propuesta de modelo de sistema de producción orgánica, a partir de implementar las actividades de cada uno de los atributos mejor evaluados, independientemente de la edad de las

plantaciones de marañón, por no ser un determinante para alcanzar la sostenibilidad. Al final del estudio se concluye que los sistemas de producción manejados orgánicamente son más sostenibles en las dimensiones económicas, sociales y ambientales, en comparación con los sistemas manejados convencionalmente.

Palabras claves: sistemas de producción orgánica, sustentabilidad, frutales, marañón.

ABSTRACT

When implementing agricultural production systems that seek social and economic benefit for the population, renewable and non-renewable natural resources are affected, reduced, modified and sometimes destroyed. In this context, this research evaluates the sustainability and characterization of the organic cashew (*Anacardium occidentale*) production chain. The objective was to carry out a comparative analysis of the sustainability of organic and conventional cashew management systems, considering environmental, economic and social dimension, in the communities of the Bajo Lempa region. This region has an approximate territorial extension is 92.6 hectares and it is located in the counties of Pacún, Las Anonas, San Carlos Lempa and Las Mesas, in the municipality of Tecoluca, department of San Vicente. The methodology used was the Evaluation Framework of Natural Resources Management Systems, with the incorporation of sustainability indicators, known as MESMIS. This system proposes a flexible structure, adapted to different levels of information and technical capacities. It has a practical orientation based on a participatory approach that promotes discussion and feedback between evaluators and evaluated. In addition, it provides an interdisciplinary vision to comprehensively understand the limitations and possibilities of sustainability in management systems that arise from the intersection of environmental processes in the social and economic sphere. A comparison was made between current management systems and alternative systems, a procedure that allowed, firstly, to examine the effectiveness of the sustainability of social, economic and environmental systems, and secondly, to identify critical sustainability points in order to propose changes that improve the sustainability of the systems. Ninety percent of this region comprises plots between 1 to 5 hectares (ha); 71% of the selected producers have agriculture as their source of income, and of these, 94% are dedicated to the cultivation of cashew. The most sustainable attributes of the evaluated production systems were determined. A proposal for an organic production system model was generated, based on implementing the activities of each of the best evaluated attributes, regardless of age of the cashew plantations, as it is not a determining factor in achieving sustainability. It is concluded that organically managed production systems are more sustainable in economic, social and environmental dimensions, compared to conventionally managed systems.

Key words: organic production system, sustainability, fruit trees, cashew.

INTRODUCCIÓN

El desarrollo sostenible es aquel que satisface las necesidades presentes sin comprometer o reducir las opciones de las generaciones futuras (Noboa 2007). Este concepto se basa en asegurar que el uso de los recursos naturales, sostenible en el tiempo y permita tener una mejor vida para los seres humanos, por esa razón se deben considerar cambios en las relaciones entre la humanidad y el medio ambiente. A partir de esta situación, se hace impostergable la búsqueda de alternativas productivas innovadoras que consideren los elementos del desarrollo sostenible. Por ello, se realizó la evaluación de los sistemas productivos orgánico y convencional del cultivo de marañón de la zona del Bajo Lempa, ya que, según los productores de la zona, los resultados no son muy alentadores,

principalmente desde el punto de vista económico, debido a que los encargados de la producción de marañón de la localidad han abandonado esta práctica, que perjudica grandemente al desarrollo frutícola y orgánico del país. Además, se aumenta el riesgo que estas tierras vuelvan a ser trabajadas como antes de la firma de los Acuerdos de Paz, ya que dichos terrenos eran haciendas dedicadas al cultivo de algodón, otros monocultivos y ganadería, intensivos en el uso de agroquímicos y trabajadas por familias pobres, que ganaban bajos salarios (Cummins 2003).

Dentro de este marco, para hablar de desarrollo sostenible es necesario reconciliar aspectos económicos y sociales, con las dimensiones biofísicas concernientes a los recursos naturales y a la capacidad de los distintos ecosistemas de responder

a las demandas, a las que los someten las sociedades humanas (MAG-CENTA 1992). En tal sentido, se concluye que el desarrollo sostenible involucra dimensiones económicas, ecológicas y sociales, que pueden definirse como sostenibilidad ecológica, esto consiste en que el ecosistema mantiene sus características fundamentales para su supervivencia en el largo plazo; sostenibilidad económica, por lo que el manejo sostenible de los recursos naturales produce una rentabilidad que hace atractiva su continuación; sostenibilidad social, se refiere a los beneficios y costos de la administración del sistema que se distribuyen equitativamente entre los diferentes grupos y generaciones, y se obtiene un grado de satisfacción de las necesidades que hace su continuación posible (Muller 1996).

Es importante indicar, que, a pesar del conocimiento obtenido de los beneficios de implementar sistemas sostenibles de producción, la agricultura de subsistencia la utiliza en la actualidad más de 1/5 parte de la humanidad, y supone gran parte de la superficie agrícola del mundo. En general, la encontramos en los países subdesarrollados y con problemas de superpoblación. La revolución verde trató de superar estos problemas, pero provocó un cambio drástico en la dieta. Además, frecuentemente, destruyó los sistemas tradicionales de cultivo y provocó algunas crisis ecológicas (Pastrana 2007).

Las acciones de la revolución verde pretendían resolver la problemática de la inseguridad alimentaria, y de cierta manera lo resolvió, por un tiempo, sin considerar la pérdida incalculable de la biodiversidad de los ecosistemas. Sin embargo, el daño ocasionado por estas prácticas se puede revertir. Existen investigaciones que en la agricultura tradicional andina no se abandonaron las estrategias de tecnologías tales como: la diversificación de cultivos, la interacción de la ganadería y la agricultura, actividades intensivas en el uso de mano de obra local; todas estas constituyen principios técnicos y biológicos que buscan sostenibilidad ecológica a mediano y largo plazo, con cierta independencia a medios de producción de origen externo. Existen

evidencias que la revolución verde no sustituyó completamente ciertas agriculturas tradicionales. Entonces, una posibilidad es iniciar el “camino de retorno” (Villaruel 2007), por lo tanto, se debe considerar el aporte valioso que dan estos diferentes sistemas de producción que existen en todo el mundo.

Con estos antecedentes expuestos, es estratégico hacer todos los esfuerzos que conlleven a la búsqueda de nuevas formas de producción, a fin de reducir los altos índices de contaminación ambiental y darle vida a cada una de las acciones realizadas, con el objetivo de salvar nuestro planeta. Además, se debe eliminar el viejo paradigma de maximizar rendimientos y retornos económicos, y se debe dar paso al objetivo de balancear y optimizar la productividad con la equidad social, la viabilidad económica y la conservación de los recursos naturales, ya que son estos los principios de la sostenibilidad de los sistemas de producción (Astier *et al.* 1999).

Sin embargo, ante la creciente implementación de los sistemas de producción bajo un enfoque de sostenibilidad, se hace necesario diseñar métodos de evaluación para determinar si en realidad están contribuyendo a conservar el medio ambiente, a generar algún excedente económico, sin originar problemas sociales en las zonas donde se desarrollan. A partir de estas condiciones es que se detalla como ejemplo de casos, donde el Marco de Evaluación de los Sistemas de Manejo de los Recursos Naturales (MESMIS), ha sido implementado con muy buenos resultados, como es la evaluación de la sustentabilidad de la producción de algodón orgánico en las comunidades de Solo y San Miguel de Sisa, Tarapoto, Perú, llevada a cabo por la Red de Acción en Alternativas al uso de Agroquímicos (RAAA). El análisis comparó de manera transversal el sistema del algodón orgánico, adoptado por 30 familias, con el sistema tradicional practicado por 10 familias. Las intervenciones al sistema tradicional contemplan la diversificación productiva en tiempo y espacio, el manejo de suelo y agua, y el apoyo en la organización de los productores para el mercadeo y planificación (LEISA 2003).

El método del MESMIS permite hacer un análisis integral comparativo; aborda las áreas de medio ambiente, economía y social de los sistemas de producción, tanto de los tradicionales e innovadores. Esto le permite medir la sostenibilidad y poder hacer los cambios respectivos, para mejorar esta condición.

Debido a estas características, dicho método fue seleccionado para identificar las fortalezas y debilidades de los sistemas de producción orgánico y convencional de marañón, y con ello determinar las causas que limitan y amenazan la sostenibilidad del sistema de marañón orgánico en la región del Bajo Lempa. Con el fin de establecer una definición operativa del concepto de sostenibilidad, se requirió identificar una serie de propiedades o atributos generales de los agroecosistemas sostenibles. Los atributos sirven de guía para el análisis de los aspectos relevantes y para derivar indicadores de sostenibilidad durante el proceso de evaluación, por ello, MESMIS parte del supuesto que un agroecosistema sostenible es aquel que posee los siguientes atributos: productividad, estabilidad, confiabilidad, resiliencia, adaptabilidad, equidad, autosuficiencia, entre otros (Astier 1999). Para el presente estudio se asignó valores de 5, 3, 1, donde el valor de 5 representa mayor sostenibilidad para el atributo evaluado.

METODOLOGÍA

La investigación se realizó en los cantones: El Pacún, Las Anonas, San Carlos Lempa y Las Mesas, en el municipio de Tecoluca, departamento de San Vicente, El Salvador (Figura 1), donde la Asociación Fundación CORDES, Región III, ha ejecutado proyectos de siembra y asistencia técnica en el cultivo de marañón.

Las condiciones climatológicas de la zona se caracterizan por tener entre 1,700 a 1,800 mm de lluvia al año, con una temperatura promedio de 26.8°C y una humedad relativa promedio de 73%. La georeferencia de la parte más baja es de -1 msnm con 88.79718 O y 13.25065 N y la zona más alta es de 19 msnm con 88.735681 O y 13.395462 N (SNET 2009).



Fuente: Elaboración propia.
Figura 1. Mapa de ubicación de la zona de estudio

Categorización de los sistemas de producción

La categorización de los productores se realizó con base a dos criterios: el primero fue la edad, ya que existen plantaciones de marañón con dos edades distintas; el grupo de sistemas de producción de mayor edad se identificó por las letras (SM) y el de menor edad por las letras (Sm), el primer grupo posee plantas que tienen entre 38 a 40 años de edad y el segundo cuenta con plantas entre 11 y 13 años de edad. El segundo criterio fue el manejo del cultivo orgánico o convencional, y se identificaron por las letras de SO y SC, respectivamente.

Toma de Muestra

La zona de estudio tiene 92.6 hectáreas sembradas de marañón; 28 productores son los dueños de estas plantaciones, con este universo de propietarios se partió para obtener la muestra de las encuestas a pasar en los productores orgánicos. Para ello se implemento la siguiente fórmula:

$$n = \frac{N \times Z^2 \times P \times q}{N(d^2) + Z^2 \times P \times q}$$

Donde:

n = Número de encuestas

N = Tamaño de población equivalente a 28 productores

P = Probabilidad que el 50% de los productores sean encuestados

q = Probabilidad que el 50% de los productores no sean encuestados

d = Error equivalente a 0.17

Z = Coeficiente equivalente a 1.96 (Mateu 2003).

Sustituyendo datos en la fórmula se obtiene el siguiente resultado

$$n = \frac{25 \times (1.96)^2 \times 0.5 \times 0.5}{25(0.16^2) + (1.96)^2 \times 0.5 \times 0.5}$$

n = 15 encuestas a pasar a los productores orgánicos.

Con relación a la toma de muestra de plantaciones manejadas convencionalmente, no fue posible establecer estratos, ya que la mayoría fueron vendidas a personas que no viven en la zona y tienen muy poca disponibilidad de cooperación, por ello la toma de muestra se hizo de forma directa con los productores-

Resultó una muestra total de 18 sistemas de producción, equivalente a 61 hectáreas, divididos en cuatro grupos: Sistemas Orgánicos (SO) con 15 parcelas, Sistemas Convencionales (SC) con 3 parcelas; y los Sistemas con edades Mayores (SM) y edades menores (Sm), los conformaron parcelas que se encuentran en los dos primeros grupos (SO, SC), 9 plantaciones para cada uno.

Para realizar la evaluación, se dio seguimiento a los siguientes pasos:

Determinación del Objeto de la evaluación

La unidad de análisis de la presente investigación es la caracterización de los sistemas de producción convencionales y orgánicos.

Determinación de los Puntos Críticos

Los aspectos o procesos que limitan o fortalecen la sustentabilidad de los sistemas se conocen como puntos críticos, es decir, son todos aquellos aspectos que pueden facilitar u obstaculizar la productividad, resiliencia, confiabilidad, equidad, adaptabilidad y autogestión del sistema (Delgadillo y Delgado 2003).

Selección de los Indicadores

Para el Atributo de productividad se seleccionaron los indicadores de rendimiento y utilidad. El rendimiento de la parcela nos puede reflejar la calidad del manejo agronómico que se está implementando en la plantación.

Para los atributos de estabilidad, confiabilidad y resiliencia, se determinaron los indicadores sobre el porcentaje tanto de diversidad, como de materia orgánica, el pH del suelo y permanencia de los productores en el sistema.

Con el objetivo de medir el atributo de equidad en dicho estudio, se determinó como indicadores la democratización del poder, que básicamente permite evidenciar la participación de los miembros de la familia en las principales decisiones; además, se agregó el indicador que mide la distribución de las utilidades entre la familia.

Con relación al atributo de adaptabilidad, se consideró el indicador del número de tecnologías implementadas por los productores en sus parcelas.

Para el atributo de autogestión, se utilizaron cuatro indicadores: *número de familiares que trabajan en la parcela, *evaluación del trabajo de la Asociación de Productores Agroindustriales Orgánicos de El Salvador (APRAINORES), *tenencia de la tierra y la cantidad de productores que utilizan crédito para

trabajar en las parcelas y la *dependencia de recursos externos y la capacidad de acceso al financiamiento.

Medición y Monitoreo de los Indicadores

Se realizó a través del llenado de una encuesta; los datos obtenidos corresponden a las áreas económicas, sociales y ambientales.

Es importante puntualizar los diferentes métodos de análisis realizados para cada indicador, dependiendo de sus características específicas, por ejemplo, en el caso de indicadores cuantitativos, se utilizaron medidas de tendencia central, como la media aritmética y rangos, para establecer los valores de cada sistema y edad del cultivo, luego estos valores se estandarizaron de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$ND = [(V - V_{min}) / (V_{max} - V_{min})] \times 100$$

Donde:

ND = Nivel de desempeño del Indicador

V = Valor medido del indicador

V_{max} = Valor máximo del indicador

V_{min} = Valor mínimo del indicador

Estos valores luego son transformados a la escala de 5 puntos siguiente:

Valores de 81 a 100% equivalen a 5,

Valores de 61 a 80% equivalen a 4,

Valores de 41 a 60% equivalen a 3

Valores de 21 a 40% equivalen a 2,

Valores de 0 a 20% equivalen a 1.

La interpretación de estas mediciones es la siguiente: en la medida que se acerca al cinco (5) representa mayor sostenibilidad, y el número uno (1) refleja menor sostenibilidad (Dayaleth *et al.* 2007).

Para los indicadores cualitativos, se aplicaron parámetros descriptivos con valores de 1 a 5, llevando

así a las mismas condiciones de interpretación a los indicadores involucrados en la investigación.

Evaluación de los sistemas de producción a partir de las categorizaciones

Las evaluaciones se realizaron a diferentes niveles; el primero fue por individuo, sin comparación alguna de cada sistema de producción en estudio, el segundo consistió en calcular los atributos de sostenibilidad para cada grupo de los sistemas de producción, con el objetivo de identificar los valores de los atributos máximos, medios y mínimos, lo que permitió determinar qué indicadores inciden de manera negativa o positiva en el desarrollo del sistema. Para ello se utilizaron los valores de los atributos individuales de los sistemas de producción ya calculados en la primera evaluación de este estudio, con estos valores se diseñaron cuatro cuadros correspondientes a cada grupo de sistemas, para el grupo de sistemas orgánicos (SO) con 15 datos que representan a igual número de productores; el segundo grupo de sistemas Convencionales (SC) lo conforman tres productores; el tercer grupo son los sistemas que representan a las plantaciones de mayor edad (SM), donde hay nueve productores y el último grupo de sistemas son las plantaciones de menor edad (Sm), con nueve productores; luego se procedió a identificar los valores máximos, medios y mínimos de cada grupo de sistemas de producción.

El tercer nivel de evaluación se realizó a través de comparar los valores medios de cada grupo de los sistemas de producción obtenidos en el segundo nivel de evaluación, a continuación, se detallan los grupos:

Grupo 1: Manejo Orgánico = SO

Grupo 2: Manejo Convencional = SC

Grupo 3: Plantaciones de mayor edad = SM

Grupo 4: Plantaciones de menor edad = Sm

Al realizar las combinaciones respectivas, se obtienen seis comparaciones: (SO -SC), (SO -SM), (SO -Sm), (SC -SM), (SC -Sm), (SM -Sm). Para la presentación

e integración de resultados se utilizó el diagrama radial, donde cada eje representa un atributo de sostenibilidad.

Presentación e integración de resultados

El quinto paso consistió en la integración de resultados obtenidos mediante la valoración de los indicadores. Para ello se implementó el método de Técnicas Mixtas, que es una combinación de presentación gráfica con información numérica para aquellos indicadores que lo permitan. El método es llamado AMIBA. En este método se dibuja un diagrama radial en el que cada uno de los indicadores escogidos para el análisis representa un eje por separado, con sus unidades apropiadas, que permite mostrar el desempeño de cada uno de los indicadores por separado, pero a la vez mantiene un análisis integral. Con este método se presentan los resultados de las combinaciones posibles entre los diferentes sistemas de producción, donde el diagrama muestra de manera cualitativa el nivel de cobertura del objetivo deseado que tiene para cada indicador. Además, se hizo un análisis cualitativo de la comparación de cada grupo de sistemas evaluado, con el objetivo de relacionar estos datos en las dimensiones económicas, ambientales y sociales, para ello se utilizó la escala de graduación (Cuadro 1).

Cuadro 1. Escala de graduación de los indicadores de sostenibilidad.

Parámetros	Valoración Cualitativa
1 a 1.99	Muy Bajo
2 a 2.99	Bajo
3 a 3.99	Medio
4 a 5	Alto

Fuente: Elaboración propia

ANÁLISIS DE RESULTADOS

El resultado principal de la investigación es que los sistemas de producción orgánicos son más sostenibles en las dimensiones económicas, sociales y ambientales, en comparación con los sistemas convencionales. En la Dimensión Ambiental se

obtuvieron los siguientes resultados: sobre los estudios de suelo tenemos que la clase II representa un 11% del área total de las fincas cultivadas con marañón; la clase III corresponde al 28% y la clase IV representa el 61%. Lo que lleva al siguiente análisis: la proporcionalidad del área en estudio con cultivo de marañón coincide que más del 50% de esta se encuentra en suelos con baja capacidad de retención de agua y poca fertilidad, esto es en las parcelas ubicadas en la Isla de Montecristo y en la comunidad de Las Anonas.

En la Dimensión Social, del total de la población encuestada, el 52.94% de los productores tienen edades entre 46 y 60 años; el 29.41% entre 30 a 45 años, el 11.76% entre 61 a 75 años y el 5.88% tienen más de 75 años de edad.

Con relación a la tenencia de la tierra, el 94.12% dijo que son dueños de su propiedad y solo el 5.88% manifestó que estaba arrendando la parcela. Además, el 59% de las plantaciones de marañón tienen entre 1 a 2.5 ha, el 29% de los productores tienen parcelas entre 2.6 a 5 ha y el 12% tienen parcelas mayores de 5 hectáreas.

Acerca de los servicios básicos, el 100% de la población visitan la Unidad de Salud ubicada en el cantón San Carlos Lempa, siempre y cuando tenga algún quebranto de salud y solo el 47% dijo que visitaban el hospital más cercano. Estos resultados están relacionados con la existencia del servicio de transporte en la zona, ya que facilita la movilidad de la población a la Unidad de Salud.

Con respecto a la educación el 13% manifestó haber terminado sus estudios de bachillerato; el 21% terminó su tercer ciclo; otro 21% dijo haber estudiado hasta el segundo ciclo; el 20% solo estudió primer ciclo y el 25% de la población no saben leer ni escribir.

En la dimensión económica el 71% de los productores entrevistados se dedica exclusivamente al trabajo agrícola, el 18% además de lo agrícola a la pesca artesanal y el 11% dijo que se dedica a la agricultura y al comercio a través de pequeños negocios con

productos del lugar.

Para el rubro del cultivo de marañón, se realizó el análisis del margen de utilidad, donde se observa que el mayor margen es del 63% y corresponde a un productor, que maneja su parcela de forma convencional y el menor margen es del 19%, y es de una parcela ubicada en tierra firme y con manejo orgánico. El resultado de esta diferencia se debe a los costos de producción, ya que las parcelas con manejo orgánico invierten más capital que en las plantaciones convencionales y el valor de la venta es igual.

Presentación e integración de resultados

A partir de los valores, cerca de 5 representan sistemas más sostenibles, los resultados obtenidos de cada plantación evaluada son diversos, ya que los datos de los atributos están en un rango de 1 a 5. Los atributos relacionados a la estabilidad, confiabilidad, y resiliencia (Cuadro 2), dieron los valores menores, lo que indica que los productores deben aplicar otras actividades que conlleven alcanzar más sostenibilidad en la producción del cultivo de marañón y el atributo de adaptabilidad, resultó en la mayoría de las plantaciones como el más sostenible.

Cuadro 2. Resultados de la Sostenibilidad del sistema de producción implementado por cada productor de la investigación

Nombre	ATRIBUTOS				
	Productividad	Estabilidad Confiabilidad Resiliencia	Equidad	Adaptabilidad	Autogestión
Fermín Elías Molina	1.50	3.00	4.00	5.00	4.50
Juan Parada Santana	1.00	2.25	4.00	4.00	4.50
Eduardo Murcia	2.50	1.25	3.00	3.00	3.75
Luis Alonso Orellana	2.25	2.50	3.00	5.00	4.50
Margarita Carbajal Méndez	1.25	2.00	2.00	4.50	4.00
Reyes Cruz Parada	4.50	2.50	3.00	4.00	4.50
Carmen Surin	4.00	1.00	3.00	2.00	2.50
Patricia Granado Chavarría	4.50	2.25	2.00	5.00	4.50
Leopoldo Rafael Abrego	1.50	2.50	4.00	5.00	3.50
Sebastián de Jesús Vásquez	3.75	3.00	3.00	5.00	4.50
Alberto Clímaco	3.00	3.00	4.00	5.00	4.00
Juan Luis Avilés Moreno	1.50	3.00	4.00	3.50	4.50
Marta Espinoza Cruz	1.50	2.25	4.00	4.00	4.50
Manuel de Jesús Henríquez	3.00	2.75	5.00	3.75	4.00
Gonzalo Iraheta Cortez	1.50	2.50	4.00	5.00	2.75
José Moris Cruz	1.50	1.875	4.00	4.00	4.00
Marina Díaz Flores	1.50	1.375	4.00	4.00	3.75
Juan Parada Santana	3.25	2.25	3.00	4.00	4.50

Con los resultados anteriores, se plantea un sistema modelo de producción del cultivo de marañón en la zona de estudio (Cuadro 3), donde se han seleccionado

las plantaciones que alcanzaron los valores de los atributos más altos y con ello se puede tener plantaciones de marañón más sostenibles.

Cuadro 3. Sistema modelo de producción del cultivo de marañón.

Nombre	ATRIBUTOS				
	Productividad	Estabilidad Confiabilidad Resiliencia	Equidad	Adaptabilidad	Autogestión
Fermín Elías Molina		3.00		5.00	4.50
Juan Parada Santana					4.50
Luis Alonso Orellana				5.00	4.50
Reyes Cruz Parada	4.50				4.50
Patricia Granado Chavarría	4.50			5.00	4.50
Leopoldo Rafael Abrego				5.00	
Sebastián de Jesús Vásquez		3.00		5.00	4.50
Alberto Clímaco		3.00		5.00	
Juan Luis Avilés Moreno		3.00			4.50
Manuel de Jesús Henríquez			5.00		
Gonzalo Iraheta Cortez				5.00	

Sostenibilidad de la categorización de los sistemas de producción

Para la categorización de los sistemas de producción del cultivo de marañón se tomó en cuenta las variables de edad de las plantaciones y el manejo implementado en estas áreas, dando como resultado los cuatro grupos antes descritos. Luego de plasmar los valores de los indicadores en su respectivo atributo, se procedió a seleccionar los datos máximos, medios y mínimos, con el fin de identificar los valores de sostenibilidad ideales para cada grupo.

Sostenibilidad del grupo 1 Manejo Orgánico (SO)

Para obtener los valores de sostenibilidad del grupo SO, se utilizaron los atributos de cada productor, donde se seleccionaron los valores máximos, medios y mínimos. Es importante destacar que los atributos de productividad, adaptabilidad, autogestión y equidad (Figura 2), alcanzaron los valores de 5, siendo la escala más alta de sostenibilidad asignada en el presente estudio, para el caso de estabilidad, confiabilidad y resiliencia, los valores fueron de 3 lo que se traduce a que estos sistemas son menos sostenibles para los

atributos antes mencionados.

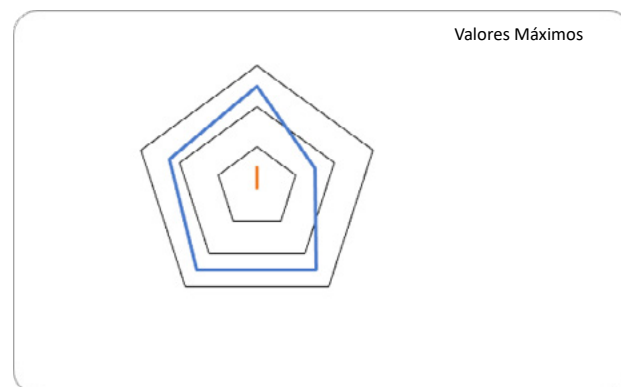


Figura 2. Representación de AMIBA de los atributos de sostenibilidad del grupo SO.

Sostenibilidad del grupo 2 Manejo Convencional (SC)

En este grupo, destaca el atributo productividad, que fue de 5, alcanzada por un productor, seguido del atributo autogestión que está muy cerca del valor 5, además, el atributo equidad resultó con un puntaje de 4. Sin embargo, para el atributo de estabilidad, confiabilidad y resiliencia alcanza valores de 2, lo que indica que este grupo de sistemas presenta menos capacidad de respuesta para mantener la producción

estable en condiciones normales y por cambios bruscos del medio ambiente. Con relación a los valores mínimos, en el atributo de adaptabilidad, se obtuvo el dato más bajo de la escala de sostenibilidad, siendo uno. El indicador que midió este valor fue el número de tecnologías implementadas en las parcelas de marañón, por lo general quien impulsa

y apoya la implementación de estas tecnologías es APRAINORES, en coordinación con la Asociación Fundación CORDES, que están dirigidas a los productores orgánicos, es por eso que este grupo tiene un valor bajo en el mencionado atributo. En la figura 3 se observa de manera gráfica los resultados antes descritos.

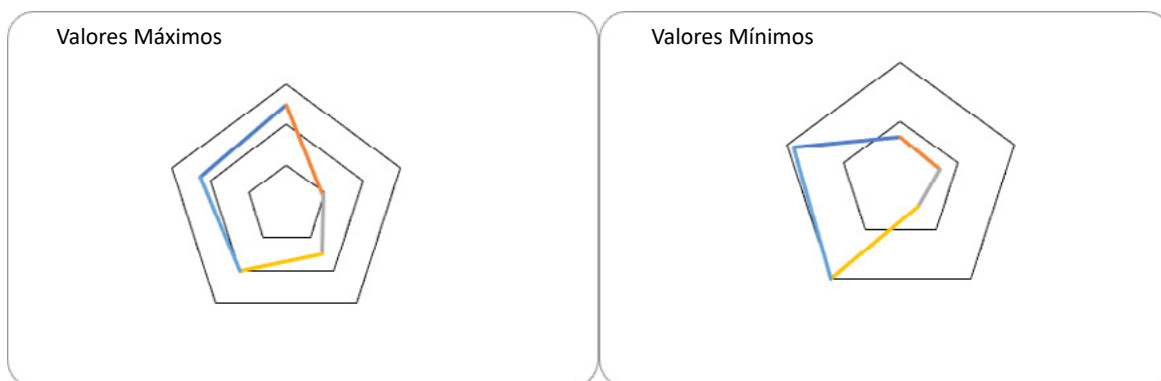


Figura 3. Representación de AMIBA de los atributos de sostenibilidad del grupo SC.

Sostenibilidad del grupo 3 Plantaciones de mayor edad (SM)

El grupo tres representa las plantaciones de marañón de 27 años de edad que en su mayoría están ubicadas en la isla de Montecristo. Para el análisis de los valores máximos y mínimos (figura 4), los atributos de equidad, productividad y autogestión alcanzaron valores arriba de 4.5 de la escala de sostenibilidad, y los atributos de estabilidad, confiabilidad, resiliencia,

y adaptabilidad llegaron a 3 y 4 respectivamente. En el caso de los valores mínimos, los resultados de los atributos de productividad, estabilidad, confiabilidad, resiliencia, fueron de uno, siendo el valor más bajo de sostenibilidad en el presente estudio. Lo que indica que existen sistemas de producción en estos grupos que no presentan los mejores rendimientos y utilidades, además, no tienen capacidad de reaccionar frente a perturbaciones graves.

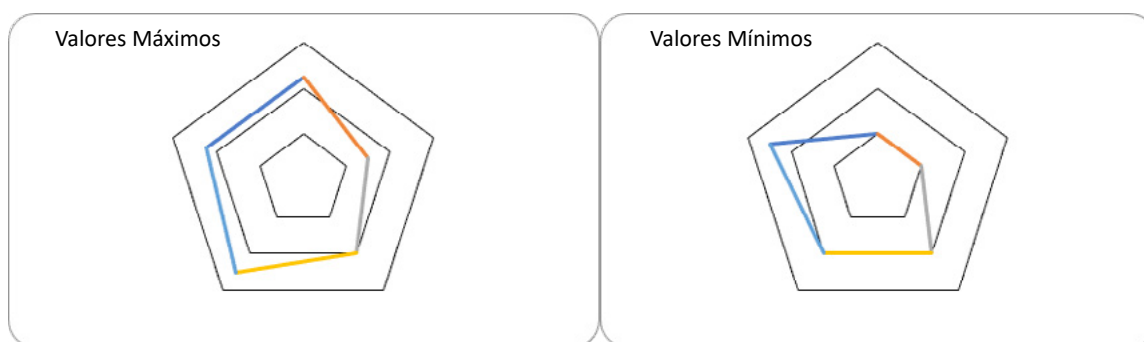


Figura 4. Representación de AMIBA de los atributos de sostenibilidad del grupo SM.

Sostenibilidad del grupo 4 Plantaciones de menor edad (Sm)

Este grupo lo conformaron todos los productores que tienen parcelas de 7 años de edad y en su mayoría

se ubican en los cantones: El Pacun, San Carlos Lempa, Anonas y Las Mesas. Para el análisis de los valores máximos se identifica que productividad, adaptabilidad y equidad tienen valores de 5 (Figura

5), esto indica que existen productores de este grupo que tienen altos rendimientos, además, implementan el mayor número de tecnologías en sus cultivos, consideran que existen procesos democráticos para acceder a los poderes y aplican el criterio de compensación del trabajo y ganancias entre los miembros de la familia; sin embargo, al

hacer el análisis con valores mínimos, encontramos productores que tienen puntajes de adaptabilidad de uno, y estabilidad, confiabilidad y resiliencia con datos de 1.38, resultados bajos en la escala de sostenibilidad, que responde a los indicadores de no permanencia en el sistema y a la baja implementación de tecnologías en las parcelas.

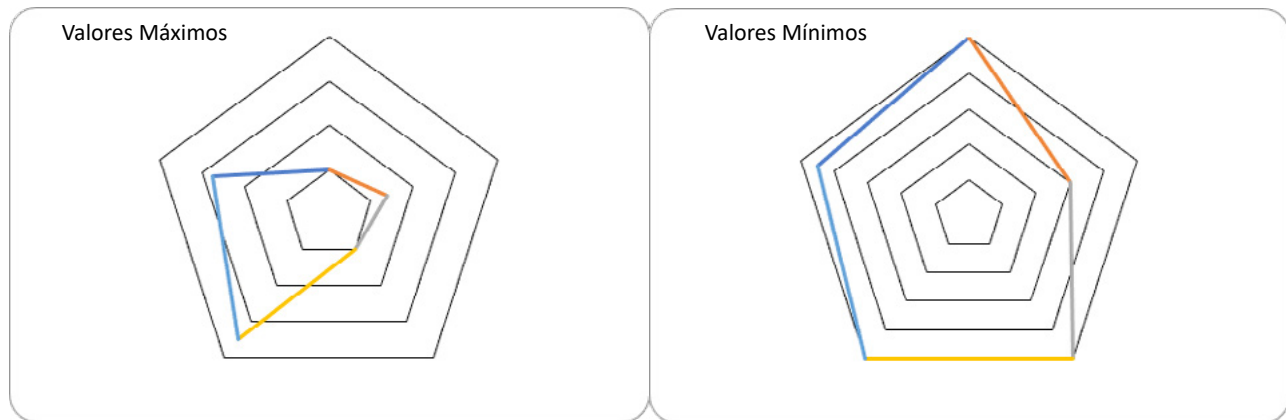


Figura 5. Representación de AMIBA de los atributos de sostenibilidad del grupo Sm.

Integración de los resultados de sostenibilidad de los cuatro grupos de sistemas

En relación al atributo de productividad, se concluye que el grupo de sistemas de las plantaciones de mayor edad (SM) son más sostenibles que el resto de los grupos evaluados, y el menos sostenible es el grupo de sistemas representados por las plantaciones de menor edad (Sm) (Figura 6). Lo anterior implica que los sistemas del grupo SM presentan mejores condiciones para mantener la producción de semilla de marañón en cantidades aceptables en comparación a los otros tres sistemas evaluados. Posiblemente esta condición es debido a la diferencia de edad que tiene con las demás parcelas, ya que expresa su máximo potencial genético y los costos son menores, son plantaciones ubicadas en la isla Montecristo donde las inversiones de manejo en el cultivo son mínimas

Para el atributo de estabilidad, confiabilidad y resiliencia, los resultados demostraron que los sistemas del grupo de plantaciones de menor edad (Sm), son más sostenibles que el resto de los grupos de sistemas evaluados y el grupo de sistemas menos

sostenibles es el grupo de sistemas manejados convencionalmente (SC).

Si bien es cierto que los sistemas (Sm), surgen como los menos sostenibles en el atributo de productividad, son todo lo contrario en el atributo de estabilidad, confiabilidad y resiliencia, lo que indica que estos sistemas ofrecen mantener los beneficios de una forma constante a lo largo del tiempo, bajo condiciones promedio o normales, o retornar a niveles de equilibrio de su potencial productivo después de sufrir perturbaciones graves (Astier *et al.* 1999); y para los sistemas (SC) sería todo lo contrario. Es importante puntualizar que al atributo de resiliencia se relaciona con la mayoría de indicadores, así, este atributo parece ser una propiedad fundamental de la sostenibilidad, por lo que, Conway y Barbier (1998) citado por Muller (1996), define sostenibilidad como resiliencia.

En el atributo de adaptabilidad, los resultados indicaron que los sistemas del grupo de parcelas manejadas orgánicamente son más sostenibles que el resto de sistemas evaluados y el menos sostenible de

los grupos del sistema fue el de las parcelas manejadas convencionalmente, este resultado se relaciona con la capacidad que presenta el sistema en la búsqueda de nuevas alternativas de producción; además, la apertura que tiene ante los cambios tecnológicos y los niveles de participación de cara al aprendizaje innovador. Esta situación se evidencia con las parcelas manejadas convencionalmente, ya que en su mayoría los cultivos de marañón están abandonados y las actividades principales de la parcela están enfocadas en otras iniciativas económicas, como el rubro pecuario y granos básicos, entre otros.

En el atributo de equidad, los resultados son muy alentadores porque todos los sistemas están arriba de la media y existen dos grupos de sistemas más sostenibles que el resto, como son los grupos SO y Sm, y la diferencia entre el sistema menos sostenible es mínima, siendo el grupo de sistemas de plantaciones con mayor edad (SM).

En realidad, estos resultados tienen responsables,

como es el trabajo acumulado por 19 años que ha realizado la Asociación Fundación CORDES y las Asociaciones de base creadas durante estos años; además, el compromiso adquirido por APRAINORES en los últimos años ha permitido tener un avance significativo en materia de equidad en la zona donde se realizó dicho estudio.

El atributo de autogestión, es de los que presenta mejores resultados, ya que las diferencias son mínimas y los datos están arriba de la media. Sin embargo, por efectos metodológicos se concluye que el grupo de sistemas manejados convencionalmente (SC) son más sostenibles que el resto de los sistemas, y el menos sostenible son los sistemas del grupo de menor edad (Sm). Es de destacar que los datos son muy similares entre cada grupo de sistema y son altos dentro de la escala utilizada en esta investigación, lo que indica que los sistemas evaluados están manejados por personas que tienen capacidades de reaccionar y buscar por si solo la solución a los problemas que se presentan.

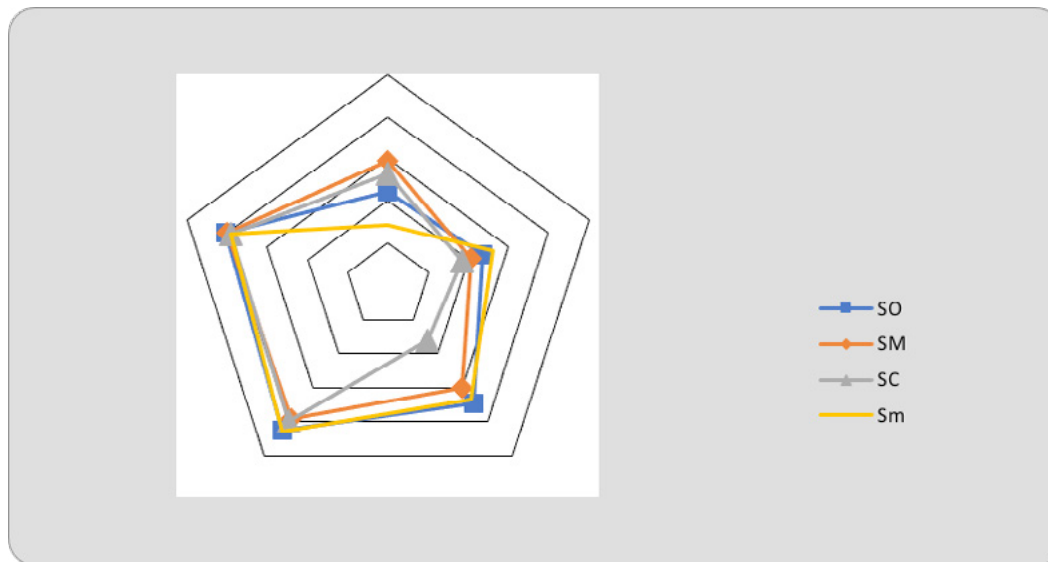


Figura 6 Valores de cada atributo correspondiente a los grupos de sistemas evaluados.

Comparación Económica, Ambiental y Social entre los cuatro grupos de sistemas analizados

Dimensión Económica: los grupos de sistemas representados por plantaciones manejadas orgánicamente y plantaciones de mayor edad,

reflejan los mejores valores de la dimensión económica, y el de menor valor son las plantaciones del grupo SC. Estos datos responden a que un 78% y 73% de los sistemas de los grupos SM y SO respectivamente, están arriba del nivel medio de

sostenibilidad, mientras que un 67% y 44% de los sistemas de los grupos SC y Sm respectivamente, están abajo del nivel medio de sostenibilidad (Cuadro 4); dimensión social: en general, esta dimensión es la que resultó con las mejores evaluaciones y este análisis es concordante con las conclusiones obtenidas en la medición de los atributos que tenían indicadores del ámbito social, observándose que los sistemas representados por el grupo SO presentan mejor valor que el resto de grupos, sin embargo, la diferencia es mínima ya que se encuentran arriba del

nivel medio de sostenibilidad; dimensión ambiental: los resultados más bajos fueron obtenidos por esta dimensión, ya que todos los grupos de sistemas en estudio están abajo del nivel medio de sostenibilidad, el menor es el grupo de sistemas de plantaciones de mayor edad, ya que el 100% de los productores están debajo del nivel de sostenibilidad, y en el caso de los otros tres grupos de sistemas encontramos que más del 50% de los sistemas están abajo del nivel medio de sostenibilidad (Cuadro 4).

Cuadro 4. Comparación entre las dimensiones Económica, Ambiental y Social.

	Económico		Social		Ambiental	
Sistema Orgánico	3.30	Medio	4.15	Alto	2.48	Bajo
Sistema Convencional	2.69	Bajo	3.61	Medio	2.33	Bajo
Plantaciones de Mayor edad	3.16	Medio	4.04	Alto	2.28	Bajo
Plantaciones de Menor edad	3.24	Medio	4.08	Alto	2.47	Bajo

CONCLUSIONES

Del total de productores objeto de este estudio, el 71% tiene como fuente de ingresos el rubro agrícola y de estos el 94% se dedica solo al cultivo de marañón.

Las edades de las plantaciones de marañón no son determinantes para la sostenibilidad.

Los sistemas de producción orgánicos son más sostenibles en las dimensiones económica, social y ambiental, en comparación con los sistemas convencionales.

En la dimensión económica, se determinó que un 73% de los sistemas de producción orgánica están arriba del nivel medio de sostenibilidad, mientras que los sistemas convencionales tienen un 67% abajo del nivel medio de sostenibilidad.

En la dimensión social, se determinó que los sistemas orgánicos y convencionales están arriba del nivel medio de sostenibilidad, son superiores los sistemas manejados orgánicamente. Además, en esta dimensión es donde se refleja más avance para ambos

sistemas.

En la dimensión ambiental, se obtuvieron datos que demuestran menos avance en el proceso de sostenibilidad de los sistemas, ya que los sistemas orgánicos tienen un valor de 2.48 y el convencional es de 2.33, datos que están por abajo del nivel medio de sostenibilidad en el presente estudio.

AGRADECIMIENTOS

A Juan Luis Avilés Moreno, productor y miembro de la Junta Directiva de APRAINORES, quien acompañó y brindó toda la colaboración necesaria para terminar la investigación.

A Fermín Molina, productor de marañón de la Isla de Montecristo, quien proporcionó información importante en dicho trabajo.

Al Ingeniero Agrónomo Luis Antonio Erazo González, Coordinador del Programa Agropecuario de la Asociación Fundación CORDES Región III, San Vicente, por su aporte y orientación en la investigación.

A María del Mar Avilés, Gerente de Operaciones de la Planta de Procesamiento de Marañón Orgánico (APRAINORES), por su colaboración e información brindada para el término del trabajo.

A todos los productores de marañón que brindaron su experiencia e información valiosa para enriquecer la investigación.

BIBLIOGRAFÍA

- Astier, M; Masera, O; Ridaura, S. 1999. Sustentabilidad y Manejo de Recursos Naturales: El marco de Evaluación MESMIS. México. Mundi Prensa México. 109 p.
- Cummings, A. 2003. Innovación y la pequeña agroindustria rural en El Salvador (en línea). El Salvador, Funde. Consultado 6 junio. 2009. Disponible en: <http://www.cinpe.una.ac.cr>.
- Dayaleth A., Torrez Alruiz, M.D., Raul Alban, Diego Griffon, R.A. 2007. Agroecología: Indicadores de sustentabilidad en Agroecología. (en línea). Consultado 9 noviembre 2009. Disponible en: <http://www.agroecologiavenezuela.blogspot.com/indicadores-de-sustentaabilidad>
- Delgadillo, J; Delgado, F. 2003. Evaluación de la implementación de prácticas de conservación de suelo: el caso de la Comunidad Chullpa K'asa, Bolivia. (en línea). AGRUCO. Consultado 29 enero 2008. Disponible en: <http://www.agruco.org/pub/artic/2003/73>
- LEISA (Low External Input Sustainable Agriculture, MX). 2003. La agricultura campesina de los mayas en Yucatán. (en línea). Consultado 24 enero 2008. Disponible en: <http://www.ileia.org/index.php?url=show-blob>
- MAG-CENTA. (Ministerio de Agricultura y Ganadería - Centro de Tecnología Agropecuaria y Forestal, ES) 1992. Por una Agricultura Sostenible, con enfoque de sistema de producción. San Andrés, El Salvador. p 14-15.
- Mateu, E; Casal, J 2003. Tamaño de la Muestra (en línea). Consultado 24 junio 2012. Disponible en: http://www.epidemiologia.com/epidemiologia/21_06_58_2TamanoMuestra3.pdf
- Muller, S. 1996. ¿Cómo medir la sostenibilidad? Una propuesta para el Área de la Agricultura y de los Recursos Naturales. IICA. San José, Costa Rica. 55 p.
- Noboa, A. 2007. Desarrollo sustentable en la República de Ecuador (en línea). Consultado 15 de mayo 2009. Disponible en: <http://www.unep.org/GC/GC23/documents/Ecuador-Desarrollo>.
- Pastrana, S. 2007. Los sistemas agrarios tradicionales. (en línea) Consultado 10 octubre. 2009. Disponible en: <http://www.club.telepolis.com/geografo/rural/tradicional.htm>
- SNET (Servicio Nacional de Estudios Territoriales. SV). 2009. Información meteorológica de la estación U-6. Servicio Meteorológico Nacional. Centro de información y agro meteorología. MARN. San Salvador, El Salvador.
- Villarreal, T. 2007. Producción sostenible y conservación de la Biodiversidad agrícola en sistemas tradicionales: análisis de la racionalidad productiva ecológica de alta montaña. (en línea). Consultado 15 Junio 2009. Disponible en: [http://www.condensan.org/e-foros/Bishkek/Bishkek%20B3-caso\(t.Villarreal\).htm](http://www.condensan.org/e-foros/Bishkek/Bishkek%20B3-caso(t.Villarreal).htm)

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 de estar en concordancia con los objetivos que se plantearon en el proyecto de investigación. No deben mencionarse cuadros o figuras. No deben confundirse con recomendaciones. No usar números o viñetas.

5. 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 un documento de Microsoft Word a 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.

Los textos académicos que la revista admite son los siguientes:

- Artículos científicos
- Notas técnicas
- Estudio de casos
- Revisiones bibliográficas

Si desea publicar en Revista Agrociencia, puede enviar su texto a: revista.agrociencia@ues.edu.sv



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