



AGROCIENCIA

Cultivando el conocimiento para un mejor futuro

Año VII, No. 24
Julio-Diciembre 2023

Facultad de Ciencias Agronómicas
Universidad de El Salvador





Año VII, Número 24, San Salvador, El Salvador, Centroamérica, julio-diciembre 2023. ISSN 2522-6509

AUTORIDADES ACADÉMICAS

Universidad de El Salvador (UES)

Ing. Agr. M.Sc. Juan Rosa Quintanilla Quintanilla
Rector

Dra. Evelyn Beatriz Farfán Mata
Vicerrectora Académica

M.Sc. Roger Armando Arias Alvarado
Vicerrector Administrativo

Lic. Pedro Rosalío Escobar Castaneda
Secretario General

MSc. Carlos Villalta
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

Ing. Nelson Bernabé Granados Alvarado
Decano

MVz. Rosy Francis Alvarenga Artiga
Vicedecana

Ing. Agr. Balmore Martínez Sierra
Secretario

M.Sc. Emerson Gustavo Martínez
Coordinador de la Unidad de Investigación

EQUIPO EDITORIAL

Editor en jefe

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

Editor adjunto

Ever Alexis Martínez Aguilar
ever.martinez@ues.edu.sv
Secretaría de Investigaciones Científicas (SIC-UES)

COMITÉ TÉCNICO

Editor técnico

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

Soporte tecnológico e informático

José Adán Núñez Abarca
jose.nunez@ues.edu.sv
Facultad de Ciencias Agronómicas, UES

William Rafael Valdez Mejía
william.valdez@ues.edu.sv
Facultad de Ciencias Agronómicas, UES

Correctores de estilo

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

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

Comunicación y difusión

Lilian Xiomara Arévalo Benítez
lily.arevalo@ues.edu.sv
Facultad de Ciencias Agronómicas, UES

Fotógrafo

Juan Raúl Magarín
juan.magarin@ues.edu.sv
Secretaría de Investigaciones Científicas (SIC-UES)

COMITÉ CIENTÍFICO

Luis A. Mejía
lamejia@illinois.edu
University of Illinois, Urbana-Champaign

Ma. Mónica Lara Uc
mlara@uabc.mx
Universidad Autónoma de Baja California Sur, México

Víctor D. Carmona Galindo
carmonvi@udmercy.edu
University of Detroit Mercy, Detroit Michigan, United States

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

Aisur Ignacio Agudo Padrón
ignacioagudo@gmail.com
*Gerente Investigador del Proyecto Brasileño Autónomo
"Avulsos Malacológicos - AM, Brasil*

José Rutilio Quezada
bach1930@gmail.com
Consultor independiente, Estados Unidos

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

COMITÉ EDITORIAL

Fidel Ángel Parada Berrios
fidel.parada@ues.edu.sv
Facultad de Ciencias Agronómicas, UES

Blanca Eugenia Torres de Ortiz
blanca.bermudes@ues.edu.sv
Facultad de Ciencias Agronómicas, UES

Rudy Anthony Ramos Sosa
antonioteshcal@yahoo.com
Facultad de Ciencias Agronómicas, UES

Miguel Ángel Hernández Martínez
miguel.hernandez@ues.edu.sv
Facultad de Ciencias Agronómicas, UES

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

Leopoldo Serrano Cervantes
leopoldo.serrano@ues.edu.sv
Facultad de Ciencias Agronómicas, UES

Blanca Lorena Bonilla de Torres
blanca.bonilla@ues.edu.sv
Facultad de Ciencias Agronómicas, UES

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://www.agronomia.ues.edu.sv/agrociencia>



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. A partir de 2022, su periodicidad es semestral, publicándose los meses de junio y diciembre. 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, geología 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. Contacto: 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, contraportada e índice:

Por vecstock - Freepik.com

Pág.

6

Caracterización del agua de pozos para consumo humano en tres caseríos del cantón San Francisco Amatepe, municipio de San Luis Talpa, departamento de La Paz, El Salvador.

Characterization of water from wells for human consumption in three villages of the San Francisco Amatepe canton, municipality of San Luis Talpa, department of La Paz, El Salvador

Pág.

17

Validación del rendimiento productivo de tilapias (*Oreochromis sp*), tomate (*Lycopersicum esculentum L.*) y chile dulce (*Capsicum annuum L.*) en un sistema acuapónico

Validation of the productive performance of tilapia (*Oreochromis sp*), tomato (*Lycopersicum esculentum L.*) and sweet pepper (*Capsicum annuum L.*) in an aquaponic system



Pág.

29

Efecto del ácido salicílico sobre el rendimiento del frijol común (*Phaseolus vulgaris*) Var. CENTA Sequía

Effect of salicylic acid on the yield of common bean (*Phaseolus vulgaris*) Var. CENTA Drought.

Pág.

36

Evaluación de cuatro dosis de un polímero retenedor de humedad en el suelo y su influencia en el desarrollo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum L.*) variedad MEX69-290, para semilla

Evaluation of four doses of a moisture retaining polymer in the soil and its influence on the development of sugar cane (*Saccharum officinarum L.*) MEX69-290 variety, for seed.



Artículo científico

Caracterización del agua de pozos para consumo humano en tres caseríos del cantón San Francisco Amatepe, municipio de San Luis Talpa, departamento de La Paz, El Salvador.

Benavides-Serrano, M.E.

Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias Agronómicas, Departamento de Desarrollo Rural.

Choto Quintanilla, M.D.

Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias Agronómicas, Departamento de Desarrollo Rural.

Pineda-Zaldaña, E.A.

Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias Agronómicas, Departamento de Desarrollo Rural.

Rodríguez-Urrutia, E.A.

Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias Agronómicas, Departamento de Desarrollo Rural.

Ramos-Sosa, R.A.

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

Arriaza-Alfaro, C.M.

Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados (ANDA).

RESUMEN

La investigación se realizó de septiembre 2019 a enero 2020 en los caseríos Los Encuentros, El Anono y El Hervedor del cantón San Francisco Amatepe, municipio de San Luis Talpa, departamento de La Paz, El Salvador con el objetivo de caracterizar el agua de pozo del área en estudio, conocer las prácticas de uso y manejo del agua y suelo mediante un estudio socio-económico. Para la caracterización del agua se seleccionaron al azar seis pozos, unidades experimentales por cada uno de los caseríos, se realizaron 3 muestras de agua para los parámetros microbiológicos, y dos para los parámetros físico-químicos. Los análisis físico-químicos se realizaron en el Laboratorio de Química Agrícola de la Facultad de Ciencias Agronómicas y en el Laboratorio Físico-químico de Aguas de la Facultad de Química y Farmacia, ambos de la Universidad de El Salvador. Los análisis microbiológicos se realizaron en el Centro de Investigación y Desarrollo, del Centro de Formación Integral de la Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados. Los resultados de los análisis fueron comparados con el Reglamento Técnico Salvadoreño “RTS 13.02.01:14 Agua. Agua de Consumo Humano. Requisitos de Calidad e Inocuidad”. Los resultados demostraron que los pozos de agua tienen contaminación máxima por arsénico (0.09 mg/L), manganeso (0.57 mg/L), hierro (0.45 mg/L), níquel (0.390 mg/L) y plomo de (0.01 mg/L). En todos los pozos de agua hay contaminación por bacterias coliformes (1.00 a 2,419.6 NMP/100 mL (número más probable)), *Escherichia coli* (<1.00 a >2,419.6 NMP/100 mL) y *Pseudomonas aeruginosa* (1.00 a 1,119.90 NMP/100 mL), los cuales no cumplen con el Reglamento Técnico Salvadoreño, por tanto, el agua de todos los pozos muestreados de los caseríos en estudio no es apta para el consumo humano.

The research was carried out in the period from September 2019 to January 2020 in the Los Encuentros, El Anono and El Hervedor hamlets of the San Francisco Amatepe canton, municipality of San Luis Talpa, department of La Paz, El Salvador; with the objective of characterizing the well water of the study area, knowing the practices of use and management of water and soil in the site through a socio-economic study. For the characterization of the water, six wells were randomly selected, experimental units for each of the villages, 3 water samples were taken for the microbiological parameters, and two for the physical-chemical parameters. The physical-chemical analyzes were carried out in the Agricultural Chemistry Laboratory of the Faculty of Agronomic Sciences and in the Physical-chemical Laboratory of Waters of the Faculty of Chemistry and Pharmacy, both of the University of El Salvador. The microbiological analyzes were carried out at the Research and Development Center of the Comprehensive Training Center of the National Administration of Aqueducts and Sewers. The results of the analyzes were compared with the Salvadoran Technical Regulation “RTS 13.02.01:14 Water. Water for Human Consumption. Quality and Safety Requirements”. The results showed that the water wells have maximum contamination by arsenic (0.09 mg/L), manganese (0.57 mg/L), iron (0.45 mg/L), nickel (0.390 mg/L) and lead (0.01 mg/L). In all water wells there is contamination by Total Coliform Bacteria (1.00 to 2,419.6 MPN/100 mL (most probable number), *Escherichia coli* (<1.00 to >2,419.6 MPN/100 mL) and *Pseudomonas aeruginosa* (1.00 to 1,119.90 MPN/100 mL), which do not comply with the Salvadoran Technical Regulations; therefore, the water from all the wells sampled from the hamlets under study is not suitable for human consumption.

ABSTRACT

ACceso ABIERTO

Título en inglés:

Characterization of water from wells for human consumption in three villages of the San Francisco Amatepe canton, municipality of San Luis Talpa, department of La Paz, El Salvador

Correspondencia:
efrain.rodriguez@ues.edu.svPresentado:
26 de marzo de 2023Aceptado:
08 de julio de 2023

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional

Palabras clave: parámetros físico-químicos y microbiológicos, metales pesados, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*.

Key words: physical-chemical and microbiological parameters, metals, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*.

INTRODUCCIÓN

El agua es el elemento más importante para la vida. Es de importancia vital para el ser humano. La disponibilidad de agua promedio anual en el mundo es de aproximadamente 1,386 millones de km³, de estos, 35 millones de km³ es agua dulce y casi el 70 % no está disponible para consumo humano debido a que se encuentra en forma de glaciares, nieve o hielo; se estima que el 0.77 % se encuentra como agua dulce accesible al ser humano (FCEA 2017).

La contaminación del medioambiente, particularmente la del agua y sus efectos en la salud de la población, es uno de los problemas más importantes que hay que atender, tanto a nivel nacional como mundial (Barrenechea 2009).

La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, aprobada en septiembre de 2015 por la Asamblea General de las Naciones Unidas, cuenta con 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible, dos de ellos tienen relación con esta investigación. ODS 3: garantizar una vida sana y promover el bienestar de todos a todas las edades. Y el ODS 6: garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos (PNUD 2019).

En 2010, la Asamblea General de las Naciones Unidas reconoció explícitamente el derecho humano al abastecimiento de agua y al saneamiento. Todas las personas tienen derecho a disponer de forma continuada de agua suficiente, salubre, físicamente accesible, asequible y de una calidad aceptable, para uso personal y doméstico (OMS y UNICEF 2015). En El Salvador, las comunidades rurales se encuentran en permanente riesgo de contraer enfermedades de origen hídrico, porque comúnmente viven sin acceso a agua segura y servicios de saneamiento. Las poblaciones que se abastecen directamente de aguas superficiales (ríos, lagos y otros) se encuentran en mayor riesgo, debido a que la fuente de agua está expuesta a diversos tipos de contaminación (ANDA 2010).

La Organización Panamericana de la Salud en coordinación con la Organización Mundial de la Salud (OPS-OMS 2013) realizaron estudios en municipios rurales de El Salvador, como San Luis Talpa (departamento de La Paz, El Salvador); ya que han reportado muchos casos de enfermedades asociadas a la ingesta de agua contaminada, principalmente la IRC (Insuficiencia Renal Crónica).

El estudio tuvo por objetivo caracterizar los parámetros físicos, químicos y microbiológicos del agua de pozos para consumo humano, y las prácticas de uso y manejo del agua y del suelo en los caseríos Los Encuentros, El Anono y El Hervedor, del municipio de San Luis Talpa, departamento de La Paz, El Salvador.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación de la investigación

La investigación se realizó en el período de septiembre 2019 a enero de 2020, en los caseríos Los Encuentros, El Anono y El Hervedor, del cantón San Francisco Amatepe, municipio de San Luis Talpa, departamento de La Paz, El Salvador.

El área geográfica en donde se desarrolló la investigación cuenta con una población de 720 personas (240 familias), quienes se distribuyen en tres caseríos: Los Encuentros (150 familias), El Anono (36 familias) y El Hervedor (54 familias). La mayoría de familias tienen un pozo en sus viviendas de donde obtienen el agua para consumo diario y la realización de actividades domésticas como bañarse, lavar ropa, lavar trastes, entre otros.

Metodología de campo

Se realizó una visita de campo con el propósito de conocer las condiciones sociales y ambientales de las comunidades, ubicar los pozos de agua en donde se realizaría el muestreo y socializar con los pobladores sobre los objetivos del estudio y la implementación de un cuestionario en el cual se utilizaron la encuesta y la entrevista, a fin de conocer las actividades de uso y manejo del agua y suelo.

Para la caracterización del agua se seleccionaron al azar seis pozos ubicados en igual número de viviendas, dos pozos o unidades experimentales por cada uno de los caseríos en estudio. Las muestras de agua para los parámetros microbiológicos, se obtuvieron cada dos meses, durante cinco meses, mientras que las muestras para los parámetros físico-químicos, se tomaron solo dos veces: en el primero y quinto mes.

Se hicieron análisis microbiológicos en dos pozos comunitarios, un pozo (Bomba 1) ubicado en el caserío El Hervedor que tiene una profundidad de 6 m y posee un sistema de agua filtrada; otro en un pozo en el caserío El Anono (Bomba 2), el cual tiene una profundidad de 50 m y es de tipo martillo.

Antes de tomar las muestras de agua para los análisis físico-químicos, los frascos de polietileno de un litro se enjuagaron con agua destilada. Los recipientes utilizados para el muestreo de agua para los análisis microbiológicos (de 100 mL cada uno) fueron esterilizados y sellados, los selllos se quitaron en el momento del llenado de la muestra. En la mayoría de pozos la muestra de agua se tomó del grifo, a excepción del pozo 3 en el cual la muestra se obtuvo por medio de una cubeta atada a un soporte que se sumergió en el fondo del pozo para extraer el agua y posteriormente, enjuagar y llenar cada recipiente.

Los frascos fueron identificados con una etiqueta que contenía los siguientes datos: número de muestra; propietario del pozo; nombre del responsable, fecha y hora en que se tomó la muestra. Después de tomar las muestras, estas fueron almacenadas y transportadas inmediatamente en hieleras con bloques de hielo refrigerantes, con el propósito de mantener la temperatura de 4 °C y la cadena de frío, y por consiguiente conservar la viabilidad de cada muestra de agua por períodos mayores a seis horas.

En cada pozo seleccionado *in situ* se analizaron los siguientes parámetros físico-químicos: olor, (se realizó organolépticamente por medio de una sonda multiparamétrica), pH, sólidos totales disueltos y temperatura. Estos parámetros fueron analizados en campo debido a que al ser extraídos de su fuente de abastecimiento son afectados por el ambiente, modificando su valor real.

Metodología de laboratorio

Las muestras de agua recolectadas para los análisis de parámetros microbiológicos fueron transportadas hacia el Centro de Investigación y Desarrollo (CIDE) del Centro de Formación Integral de la Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados (CFI-ANDA) en San Salvador, en donde se realizaron los análisis de bacterias coliformes totales, *Escherichia coli* y *Pseudomonas aeruginosa*, por medio del método de tubos múltiples, determinando el Número Más Probable (NMP) en 100 mL de muestra.

Las muestras de agua recolectadas para los análisis de parámetros físico-químicos se transportaron hacia el Laboratorio del Departamento de Química Agrícola de la Facultad de Ciencias Agronómicas y al Laboratorio Físico-químico de Aguas de la Facultad de Química y Farmacia, ambos de la Universidad de El Salvador.

En el Laboratorio del Departamento de Química Agrícola se realizaron los análisis de dureza, turbidez, sulfatos, arsénico, cadmio, cobre, cromo, hierro, manganeso, níquel, plomo y zinc; y en el Laboratorio Físico-químico de Aguas se analizó: cianuro, nitratos, nitritos, aluminio, boro, mercurio y color verdadero.

La determinación de boro, cianuro, aluminio, color aparente, nitratos y nitritos se realizó por medio del método fotométrico; la determinación de la dureza del agua se realizó por el método complejo métrico. Los metales pesados: arsénico, cadmio, cobre, cromo, hierro, manganeso, níquel, plomo y zinc se determinaron por el método de espectroscopia de absorción atómica (EAA); la turbidez se determinó por el método nefelométrico y los sulfatos fueron determinados a través del método volumétrico.

Metodología estadística

Para la toma de las muestras de agua, de los pozos y sus respectivos análisis, se tomó en cuenta el número de caseríos, la cantidad de familias por caserío, la ubicación de los pozos, el costo de cada uno de los parámetros que se analizó y la frecuencia del muestreo.

El tamaño de la muestra para realizar las entrevistas y las encuestas a las familias, se definió mediante la técnica del muestreo aleatorio simple, el cual permitió calcular el tamaño de muestra con varianza máxima, una confiabilidad del 95 % y una precisión del 10 % (Rodríguez 1996):

$$n = \frac{N * Z_{\alpha}^2 * p * q}{(N * d^2) + Z_{\alpha}^2 * p * q}$$

Dónde:

N = población = 240 familias

Z_α = factor probabilístico, con un factor de confianza del 95 %

d = precisión = 10 %

p * q = varianza de la proporción = 0.5 * 0.5

Entonces:

$$n = \frac{240 * 1.96^2 * 0.5 * 0.5}{(240 * 0.10^2) + 1.96^2 * 0.5 * 0.5} = 69$$

Según la fórmula estadística, el número total de encuestas fue de 69, que se distribuyeron de la siguiente manera: 43 encuestas en Los Encuentros (62.5 % de la población); 10 encuestas en El Anono (15 % de la población) y 16 encuestas en El Hervedor (22.5 % de población).

Metodología socioeconómica

A través de la técnica entrevista y encuesta, se hizo una caracterización de las condiciones socioeconómicas de los habitantes de las comunidades en estudio, así como de las prácticas de uso del agua y suelo que realizan.

Con el propósito de validar las encuestas, se entrevistaron a nueve empleados de la Estación Experimental y de Prácticas de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador, ya que pertenecen al mismo municipio y viven bajo condiciones similares a las comunidades en estudio. Una vez que la encuesta

fue validada, se seleccionaron al azar las viviendas que constituyeron la muestra para hacer el diagnóstico.

Se entrevistó a un miembro de cada familia de la muestra establecida a través de la encuesta, utilizando el cuestionario. Se recorrió los tres caseríos y de forma completamente al azar se seleccionaron las familias a las cuales se les iba a pasar la encuesta, teniendo en cuenta el número de la muestra.

con el Reglamento Técnico Salvadoreño RTS 13.02.01:14 y el 100 % de las muestras analizadas están dentro del Límite Máximo Permisible establecido en el reglamento, tanto en el primer muestreo como en el segundo (MINSAL-OSARTEC, 2018)

Los resultados obtenidos demuestran que la calidad física del agua de las comunidades objeto de estudio no está siendo alterada.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización física

Al evaluar la calidad física del agua de los pozos muestreados (Tabla 1), los resultados fueron comparados

Caracterización química

Al evaluar la calidad química del agua de los pozos, todas las muestras analizadas presentaron valores por debajo del límite establecido en el Reglamento Técnico Salvadoreño RTS 13.02.01:14 (MINSAL-OSARTEC, 2018) (Tabla 2).

Tabla 1.

Resultados de parámetros físicos en muestras de agua de pozo.

| Parámetro | Unidad | LMP ¹ | Número de Muestreo | Número de muestra | | | | | |
|---------------------------|------------------|------------------|--------------------|-------------------|--------|--------|--------|--------|------------------|
| | | | | Pozo 1 | Pozo 2 | Pozo 3 | Pozo 4 | Pozo 5 | Pozo 6 |
| Color aparente | Pt-Co | 15 | 1 | 4.5 | 3.2 | 7.2 | 3.4 | 3.9 | 2.4 |
| | | | 2 | 3.7 | 5.1 | 5.8 | 3.5 | 2.7 | N/D ⁴ |
| Olor | - | N/R ² | 1 | N/R | N/R | N/R | N/R | N/R | N/R |
| | | | 2 | N/R | N/R | N/R | N/R | N/R | N/R |
| Sólidos totales disueltos | mg/L | 1000 | 1 | 396.0 | 346.0 | 464.0 | 209.0 | 233.0 | 189.4 |
| | | | 2 | 222.0 | 440.0 | 436.0 | 557.0 | 156.3 | 149.2 |
| Turbidez | UNT ³ | 5 | 1 | 1 | 1 | < 1 | < 1 | < 1 | < 1 |
| | | | 2 | 2 | 1 | < 1 | 2 | 2 | < 1 |

¹Límite Máximo Permisible según el Reglamento Técnico Salvadoreño RTS 13.02.01:14. ²No rechazable. ³Unidad Nefelométrica de Turbidez. ⁴No Detectado. Muestreo 1: 09/2019. Muestreo 2: 01/2020.

Tabla 2.

Resultados de parámetros químicos en muestras de agua de pozo.

| Parámetro | Unidad | LMP ¹ | Número de Muestreo | Número de muestra | | | | | |
|-----------|--------|------------------|--------------------|-------------------|---------|---------|---------|--------|--------|
| | | | | Pozo 1 | Pozo 2 | Pozo 3 | Pozo 4 | Pozo 5 | Pozo 6 |
| Cianuro | mg/L | 0.07 | 1 | 0.006 | 0.006 | 0.013 | 0.014 | 0.027 | 0.001 |
| | | | 2 | 0.007 | 0.007 | 0.007 | 0.006 | 0.007 | 0.007 |
| Dureza | mg/L | 500 | 1 | 257.77 | 284.37 | 298.69 | 122.75 | 106.38 | 118.66 |
| | | | 2 | 153.44 | 394.85 | 284.37 | 331.43 | 75.70 | 106.38 |
| Nitratos | mg/L | 50 | 1 | 0.20 | 21.70 | 5.20 | 1.25 | 2.07 | 5.50 |
| | | | 2 | 0.13 | 33.54 | 5.82 | 0.21 | 1.15 | 2.58 |
| Nitritos | mg/L | 3 | 1 | 0.038 | 0.082 | 0.043 | 0.080 | 0.032 | 0.049 |
| | | | 2 | 0.044 | 0.031 | 0.035 | 0.036 | 0.028 | 0.037 |
| pH | - | 6.0-8.5 | 1 | 6.31 | 6.29 | 6.35 | 6.56 | 6.39 | 6.64 |
| | | | 2 | 6.44 | 6.27 | 6.41 | 6.30 | 6.39 | 6.34 |
| Sulfatos | mg/L | 250 | 1 | 90.508 | 98.736 | 127.534 | 41.140 | 86.394 | 74.052 |
| | | | 2 | 53.482 | 209.814 | 148.404 | 234.498 | 74.052 | 37.026 |

¹Límite Máximo Permisible según el Reglamento Técnico Salvadoreño RTS 13.02.01:14. Muestreo 1: 09/2019. Muestreo 2: 01/2020.

Aunque los valores de estos parámetros cumplen con el Reglamento, la dureza es el parámetro que se encuentra más cercano a superar el límite de 500 mg/L, con un valor máximo de 394.85 mg/L, por lo que debe vigilarse por posibles valores altos en un futuro.

Metales pesados

El agua de los pozos muestreados presentó valores por debajo del Límite Máximo Permisible por el Reglamento

Técnico Salvadoreño RTS 13.02.01:14 en los metales: aluminio, boro, cadmio, cobre, cromo, mercurio y zinc; mientras que presentó valores superiores al límite en arsénico, hierro, manganeso, níquel y plomo (MINSAL-OSARTEC, 2018).

Los análisis demuestran que los pozos 1, 2, 3 y 6 (Tabla 3), presentan los valores más altos para los metales pesados, siendo el pozo 1 el que presenta mayor contaminación en cuanto a arsénico, hierro, magnesio y plomo.

Tabla 3.

Resultados de metales pesados en muestras de agua de pozo.

| Parámetro | Unidad | LMP ¹ | Número de Muestreo | Número de muestra | | | | | |
|----------------|--------|------------------|--------------------|-------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| | | | | Pozo 1 | Pozo 2 | Pozo 3 | Pozo 4 | Pozo 5 | Pozo 6 |
| Aluminio (Al) | mg/L | 0.2 | 1 | N/D ² | 0.030 | 0.010 | 0.020 | 0.010 | 0.010 |
| | | | 2 | N/D ² | 0.060 | 0.020 | 0.050 | 0.010 | 0.070 |
| Arsénico (As) | mg/L | 0.01 | 1 | 0.040 | 0.040 | 0.040 | 0.050 | 0.030 | 0.040 |
| | | | 2 | 0.070 | 0.040 | 0.090 | 0.040 | 0.040 | 0.040 |
| Boro (B) | mg/L | 2.4 | 1 | 0.230 | 0.230 | 0.260 | 0.190 | 0.230 | 0.190 |
| | | | 2 | 0.170 | 0.150 | 0.130 | 0.120 | 0.160 | 0.140 |
| Cadmio (Cd) | mg/L | 0.003 | 1 | N/D ² | N/D ² | N/D ² | N/D ² | N/D ² | N/D ² |
| | | | 2 | N/D ² | N/D ² | N/D ² | N/D ² | N/D ² | N/D ² |
| Cobre (Cu) | mg/L | 2 | 1 | N/D ² | N/D ² | N/D ² | 0.004 | 0.020 | N/D* |
| | | | 2 | N/D ² | N/D ² | N/D ² | N/D ² | N/D ² | N/D ² |
| Cromo (Cr) | mg/L | 0.05 | 1 | 0.00010 | N/D ² | 0.00002 | 0.00025 | N/D ² | N/D ² |
| | | | 2 | N/D ² | N/D ² | N/D ² | N/D ² | N/D ² | N/D ² |
| Hierro (Fe) | mg/L | 0.3 | 1 | 0.117 | N/D ² | N/D ² | 0.053 | 0.018 | N/D ² |
| | | | 2 | 0.450 | N/D ² | 0.020 | 0.240 | 0.170 | N/D ² |
| Manganeso (Mn) | mg/L | 0.1 | 1 | 0.113 | 0.101 | 0.029 | 0.074 | 0.023 | 0.120 |
| | | | 2 | 0.570 | 0.240 | 0.240 | 0.410 | 0.040 | 0.120 |
| Mercurio (Hg) | mg/L | 0.006 | 1 | N/D ² | N/D ² | N/D ² | N/D ² | N/D ² | N/D ² |
| | | | 2 | N/D ² | N/D ² | N/D ² | N/D ² | N/D ² | N/D ² |
| Níquel (Ni) | mg/L | 0.07 | 1 | 0.002 | 0.004 | 0.003 | 0.001 | 0.003 | 0.003 |
| | | | 2 | N/D ² | N/D* | 0.390 | N/D ² | N/D ² | N/D ² |
| Plomo (Pb) | mg/L | 0.01 | 1 | 0.008 | 0.002 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 |
| | | | 2 | 0.010 | N/D ² |
| Zinc (Zn) | mg/L | 4 | 1 | 0.051 | 0.007 | 0.020 | 0.005 | 0.011 | 0.028 |
| | | | | 0.020 | N/D ² | N/D ² | 0.060 | 0.020 | 0.020 |

¹Límite Máximo Permisible. ²No detectado. Muestreo 1: 09/2019. Muestreo 2: 01/2020.

Valores que no cumplen con el RTS 13.02.01:14 y RTS 13.02.02.14.

Arsénico

El 100 % de los pozos muestreados tienen contenidos de arsénico mayores de lo permitido (Tabla 3). Según Álvarez *et al.* (2003), cuando la capacidad de adsorción del suelo es elevada, el arsénico y el fósforo son retenidos, por lo tanto, la utilización de herbicidas y fertilizantes fosfatados en las prácticas agrícolas parece tener una relación con la concentración de arsénico en la solución del suelo ya que

puede aumentar su disponibilidad.

Las viviendas y los pozos de agua muestreados están ubicados en terrenos donde anteriormente se cultivaba algodón (*Gossypium hirsutum*) y en la actualidad están entre 20 a 25 m de terrenos en donde se cultiva caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), en los cuales se aplican agroquímicos por medio de avionetas.

Aguilar *et al.* (2002) en diversos muestreos de suelo y agua realizados en Ciudad Romero, El Salvador, detectaron altos niveles de cadmio y arsénico, metales pesados que son tóxicos para los riñones. Según la OMS (2020), el consumo de agua y alimentos contaminados con altas concentraciones de arsénico puede ocasionar problemas cardiovasculares, producir cáncer en la piel, vejiga y pulmón, cambios de pigmentación en la piel, lesiones cutáneas, callosidades en las palmas de las manos y en las plantas de los pies (hiperqueratosis). Estos efectos se producen tras una exposición mínima de aproximadamente cinco años.

Hierro

En el segundo muestreo realizado en enero de 2020 en el pozo 1, el análisis de agua reportó un contenido de 0.45 mg/L de hierro, el cual es mayor al Límite Máximo Permitido por el Reglamento Técnico Salvadoreño RTS 13.02.01:14, que es de 0.3 mg/L (Tabla 3).

La contaminación por metales pesados como el hierro puede conducir al daño de los órganos del cuerpo, produciendo fallas renales y respiratorias. Consumir grandes cantidades de hierro puede llevar a una condición conocida como sobrecarga de hierro, que generalmente es resultado de una mutación genética. Si no se trata, la sobrecarga de hierro puede conducir a la hemocromatosis, una enfermedad grave que puede dañar los órganos del cuerpo. Los primeros síntomas incluyen fatiga, pérdida de peso y dolor en las articulaciones, pero si la hemocromatosis no es tratada, puede conducir a enfermedades del corazón, problemas del hígado y la diabetes (Hidroquil 2019).

Manganese

Todos los pozos muestreados tienen contenidos de manganeso mayores de lo permitido en el Reglamento Técnico Salvadoreño RTS 13.02.01:14, a excepción del pozo 5 y del primer muestreo en los pozos 3 y 4 (Tabla 3).

A pesar de que son escasos los estudios relacionados con el riesgo asociado a la exposición de este metal a través del agua de consumo humano, se han encontrado evidencias de que el manganeso está relacionado con problemas neurológicos, cognitivos y de comportamiento en niños que han estado expuestos a manganeso; y que a elevadas concentraciones se relaciona con incrementos en los niveles de irritabilidad, agresiones, hiperactividad, comportamientos antisociales y efectos neuroconductuales, lo cual ha sido estudiado en niños de 6 a 13 años (Gómez *et al.* 2017).

Níquel

En el segundo muestreo realizado en enero de 2020 en el

pozo 3, el análisis de agua reportó un contenido de 0.390 mg/L de níquel, valor que supera a 0.07 mg/L el cual es el Límite Máximo Permitido por el Reglamento Técnico Salvadoreño RTS 13.02.01:14 (Tabla 3).

El níquel ocurre de forma natural en la corteza terrestre combinado con otros elementos. Se encuentra en todos los suelos y es liberado por volcanes. El níquel es liberado a la atmósfera cuando se mina y por industrias que fabrican o usan níquel, aleaciones o compuestos de este. Estas industrias también pueden desechar níquel en aguas residuales. El efecto adverso más común de la exposición en seres humanos es una reacción alérgica. Los efectos más graves a la salud por exposición al níquel, son: bronquitis crónica, disminución de la función pulmonar y cáncer de los pulmones (ATSDR 2008).

Plomo

En el segundo muestreo realizado en enero de 2020 en el pozo 1, el análisis de agua reportó un contenido de 0.01 mg/L de plomo, el cual es el Límite Máximo Permitido por el Reglamento Técnico Salvadoreño RTS 13.02.01:14 (Tabla 3). Herrera (2012), menciona que el plomo puede ser acumulativo en el organismo, es decir, puede consumirse en pequeñas cantidades y el organismo lo acumula, además, el cuerpo lo libera lentamente, por lo que, si se consume diariamente, aunque sea en pequeñas cantidades, con el tiempo puede generar problemas en el sistema nervioso y efectos renales.

Caracterización microbiológica

Los resultados demuestran que todos los pozos analizados tienen contaminación microbiológica por bacterias coliformes totales, *Escherichia coli* y *Pseudomonas aeruginosa* y no cumplen con el Reglamento Técnico Salvadoreño “RTS 13.02.01:14 Agua. Agua de Consumo Humano”, a pesar que la bomba 1 posee un sistema purificador de agua y la bomba 2 tiene 50 m de profundidad (Tabla 4) (MINSAL-OSARTEC, 2018).

Bacterias coliformes totales

Todos los pozos muestreados tienen contenidos de bacterias coliformes totales mayores a 1.1 NMP/100 mL, a excepción del pozo de la bomba 1, (que, en dos muestreos), y la bomba 2, (en un muestreo), tuvieron valores que cumplen con el Reglamento Técnico Salvadoreño RTS 13.02.01:14 (Tabla 4).

La contaminación del agua de los pozos por heces humanas puede ser debido al uso de las letrinas tipo “aboneras” en cada una de las viviendas, las cuales se encuentran a una distancia de los pozos desde 3 m hasta 10 m. Los síntomas más comunes que presenta una persona por tomar agua

Cuadro 4.Resultados de bacterias coliformes totales, *Escherichia coli* y *Pseudomonas aeruginosa* en muestras de agua de pozo.

| Parámetro | Bacterias Coliformes Totales | | | <i>Escherichia coli</i> | | | <i>Pseudomonas aeruginosa</i> | | | |
|-------------|------------------------------|----------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|----------|-------------------------------|--------|-------|-------|
| | Unidad | NMP* | | | NMP* | | | NMP* | | |
| | | LMP | Menor a 1.1 NMP/ 100 mL | | Menor a 1.1 NMP/ 100 mL | | Menor a 1.1 NMP/ 100 mL | | | |
| Nº muestreo | | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| Pozo 1 | | 980.4 | > 2419.6 | 1986.3 | 27.5 | > 2419.6 | 1.0 | 10.8 | 980.4 | 20.5 |
| Pozo 2 | | > 2419.6 | 1732.9 | 54.8 | 32.6 | 1.0 | 9.7 | 686.7 | 52.9 | 1.0 |
| Pozo 3 | | > 2419.6 | 1119.9 | > 2419.6 | 47.4 | 12.2 | 25.3 | 1119.9 | 19.9 | 47.1 |
| Pozo 4 | | 980.4 | > 2419.6 | > 2419.6 | 90.8 | 101.7 | 1.0 | 7.3 | 38.9 | 18.3 |
| Pozo 5 | | 209.8 | 4.1 | 135.4 | 44.3 | < 1.0 | 1.0 | 46.5 | 3.1 | 9.5 |
| Pozo 6 | | 1046.2 | 1203.0 | 34.5 | 7.5 | 6.3 | 2.0 | 119.8 | 13.4 | 22.6 |
| Bomba 1 | | > 2419.6 | 1.0 | 1.0 | 41.0 | < 1.0 | < 1.0 | 265.6 | 3.0 | < 1.0 |
| Bomba 2 | | 86.0 | 1.0 | 35.4 | < 1.0 | < 1.0 | 3.1 | 49.5 | 5.1 | 50.6 |

*Número Más Probable.

Muestreo 1: 09/2019. Muestreo 2: 11/2019. Muestreo 3: 01/2020.

■ Valores que no cumplen con el RTS 13.02.01:14 y RTS 13.02.02.14.

contaminada con bacterias coliformes son malestar gastrointestinal y malestares generales similares a los de la gripe como fiebre, calambres abdominales y diarrea. Los síntomas son más probables en niños o en ancianos (CYTED s. f.).

Escherichia coli

Todos los pozos muestreados tienen contenidos de *Escherichia coli* mayores a 1.1 NMP/100 mL, a excepción del pozo 5, y la bomba 1 y 2, que en dos muestreos cada uno tuvieron valores que cumplen con el Reglamento Técnico Salvadoreño RTS 13.02.01:14; al igual que los pozos 1, 2 y 4, que en un muestreo cada uno presentaron valores que cumplen con el Reglamento (Tabla 4). Consumir agua contaminada por *Escherichia coli* puede causar enfermedades como diarrea, calambres estomacales, inflamación, gas, cansancio, pérdida de peso, náusea, vómito o fiebre. Los síntomas pueden aparecer a las pocas horas o después de varios días de infectarse (DOH 2017).

La presencia de *Escherichia coli* en el agua es indicación de contaminación por aguas servidas o de residuos de animales. Las fuentes de contaminación fecal de humanos y animales representan un grave riesgo para la salud debido a la existencia de agentes patógenos en los desechos fecales (Rivera y Rock 2014).

Pseudomonas aeruginosa

Todos los pozos muestreados tienen contenidos de *Pseudomonas aeruginosa* mayores a 1.1 NMP/100 mL, a excepción del pozo 2 y la bomba 1, que en un muestreo

realizado a cada uno en enero 2020 tuvieron valores que cumplen con el Reglamento Técnico Salvadoreño RTS 13.02.02:14 (Cuadro 4). Existe contaminación microbiológica por excrementos de origen animal debido al pastoreo de ganado (vacas, caballos, cabras, otros) alrededor de los pozos; así como también por descargas de aguas residuales domésticas cerca de los pozos o manantiales. En zonas cercanas entre las comunidades, son muy frecuentes las inundaciones durante los meses de agosto y septiembre; esto lleva arrastre de materia orgánica y de partículas en suspensión que llegan al manto acuífero, contaminando de esta manera el recurso hídrico.

Pseudomonas aeruginosa puede causar diversos tipos de infecciones, pero rara vez causa enfermedades graves en personas sanas sin algún factor predisponente. Coloniza predominantemente partes dañadas del organismo, como quemaduras y heridas quirúrgicas, el aparato respiratorio de personas con enfermedades subyacentes o lesiones físicas en los ojos. Muchas cepas son resistentes a diversos antibióticos, lo que puede aumentar su relevancia en el ámbito hospitalario (Delgado y Morales 2015).

La bacteria *Pseudomonas aeruginosa* es un contaminante normal de aguas de pozos que no han pasado por un proceso de potabilización. Se asocia a residuos fecales humanos más que a heces de animales. Está reportada como la de mayor importancia clínica dentro de los bacilos Gram negativos no fermentadores (Alonso *et al.* 2005).

Según Castrejón *et al.* (2014), las principales fuentes de contaminación del agua de los pozos en comunidades pequeñas, menores de 500 habitantes, son por actividades agrícolas, ganadería o actividades pesqueras y por la

carenza de servicio de drenaje.

Marchand (2001) determina que el problema del riesgo de contaminación microbiológica radica principalmente en la proliferación de pozos y surtidores clandestinos los cuales no poseen ningún tipo de control sanitario, (sin tratamiento y sin desinfección del agua), condiciones higiénicas sanitarias deplorables (presencia de basurales, letrinas y animales entre otros) y mala ubicación del sistema de evacuación de excretas (lo cual infiltra en el terreno y penetra por las paredes del pozo, contaminando el agua).

Caracterización socioeconómica

Según los datos obtenidos en esta investigación, el 50 % de la población pertenece al género masculino y el otro 50 % al género femenino. El 39 % de las personas entrevistadas no poseen empleo; 36 % se dedica a trabajar en actividades de campo como la zafra de la caña de azúcar, producir cultivos o en la crianza de animales y el 25 % son amas de casa o trabajadores de otros sectores.

En las zonas rurales las condiciones de trabajo tienden a ser difíciles, precarias y peligrosas puesto que los empleos rurales son generalmente informales, no existen contratos escritos y los empleados no gozan de protección social. Es habitual que las personas trabajen muchas horas, perciban ingresos bajos e inestables y con frecuencia se vean forzadas a combinar varias actividades para poder subsistir (FAO 2020).

El 100 % de las familias encuestadas no cuentan con el servicio de agua potable. Los pozos en el caserío Los Encuentros tienen ocho años en promedio de haberse construido, en el caserío El Anono 12 años y en el caserío El Hervedor 18 años. Durán y Torres (2006), mencionan que el agua de pozos artesanales puede contaminarse por el deterioro de los materiales de construcción, permitiendo la filtración de lixiviados y materiales arrastrados por flujo del agua subterránea. El tiempo del deterioro dependerá del material de construcción y el criterio con que se elaboró cada pozo.

El 36 % de los pozos no posee ningún tipo de cubierta o protección para evitar la entrada de agentes contaminantes desde la superficie; el 64 % restante si posee algún tipo de protección.

Los pozos sin cubierta fácilmente pueden contaminarse por microorganismos o compuestos de todo tipo de materia en degradación como heces de animales o basura que son transportados a través del aire (Brady 2009.).

El 58 % de los pozos tiene una profundidad entre 6 a 10 metros, el 35 %, 5 m o menos, el 6 % tiene entre 16 a 20 m y el 1 % tiene una profundidad entre 11 a 15 m.

Una desventaja que tienen los pozos superficiales o poco profundos (menos de 10 m de profundidad) es el riesgo de contaminación microbiológica (Goya y Wilde 1997).

La fuente de contaminación del agua de los pozos más común en las comunidades es la cercanía con las letrinas, con una proximidad menor a 10 m en el 74 % de las viviendas. Solo el 16 % de los hogares tiene sus letrinas u otras fuentes de contaminación, como corrales y cultivos, ubicados a más de 10 m del pozo.

La localización de la letrina con respecto a cualquier fuente de suministro de agua (pozos) dentro del predio o en predios vecinos debe ser de 15 metros como mínimo; así mismo debe tomarse en cuenta la dirección en que corre el agua subterránea, a fin de no ubicar una letrina de hoyo modificado con dirección de la corriente hacia el pozo o fuente natural de suministro de agua, caso contrario, se debe utilizar una de las alternativas de letrina tipo abonera o solar (MSPAS 2004).

El 68 % de la población utiliza el agua de pozo para uso doméstico y aseo personal, 23 % para consumo humano y el 9 % la utiliza en cultivos y ganado.

Solamente un 32 % de la población rural tiene acceso a servicios de agua, que no necesariamente es potable. La calidad del agua consumida es deficiente y alrededor de un 40 % de los sistemas analizados tienen problemas de contaminación microbiológica (FONAES s. f.).

El 100 % de las familias en los caseríos en estudio no realiza análisis de calidad del agua del pozo que poseen. El 37 % de la población utiliza filtros como tratamiento del agua previo al consumo, 24 % desinfecta el agua de los pozos con cloro o lejía, el 5 % utilizan una tela (manta) como tamiz para colar el agua y posteriormente hervirla, el 34% no realizan ninguna labor de desinfección del agua antes de utilizarla.

Para elegir el mejor método para tratar el agua de pozo se debe realizar un análisis para determinar los parámetros con grado contaminante y conocer qué parámetro se desea controlar (OMS 2006).

El 81 % de las personas entrevistadas no utiliza el agua de los pozos para dar de beber a sus animales, solo el 19 % utiliza el agua del pozo para dar de beber a los animales. El 88 % de la población tiene servicio de energía eléctrica en su hogar, el 12 % no lo posee.

El 39 % de las personas entrevistadas afirmó que en sus caseríos no reciben apoyo de ninguna organización, el 32 % mencionó que la Asociación de Desarrollo Comunal (ADESCO) es la que se encarga de la gestión de proyectos y de otros beneficios para los habitantes de las comunidades; el 13 % manifestó que Cáritas (instancia

de la Iglesia Católica en El Salvador) ha intervenido en las comunidades en proyectos de agua potable, el 12 % dijeron que la Alcaldía Municipal de San Luis Talpa les apoya en diferentes servicios para las comunidades del cantón, el 4 % restante confirmó haber recibido apoyo de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) en cuanto a capacitación técnica y adquisición de tecnologías para el cultivo de hortalizas en huertos caseros.

El 42 % de las capacitaciones impartidas han sido sobre manejo de cultivos hortícolas, el 25 % sobre agricultura orgánica, el 13 % en mantenimiento de letrinas, el 8 % sobre ganado vacuno, el 4 % en cultivo de tilapia, otro 4 % dijo que tratan sobre crianza de aves de corral, y otro 4 % sobre manejo adecuado del agua.

El 65 % de las familias padecen recurrentemente enfermedades respiratorias (congestión nasal, tos y fiebre), el 19 % ha tenido enfermedades gastrointestinales, el 14 % padecen de insuficiencia renal y solo el 2 % tienen enfermedades como diabetes y migraña.

La ingesta de agua contaminada por microorganismos es la causa común de enfermedades gastrointestinales como diarrea, calambres estomacales, inflamación, gas, pérdida de peso, náusea, vómito o fiebre (DOH 2017).

Los casos de insuficiencia renal de los caseríos en estudio se encuentran por encima del promedio a nivel nacional: para el año 2015, a nivel nacional, la insuficiencia renal crónica (IRC) estaba presente en el 12.6 % de la población de todo el país (MINSAL 2018).

El 74 % de las personas entrevistadas no utiliza agroquímicos en sus cultivos, el 26 % si aplica agroquímicos. Muchos de estos productos pueden ser nocivos para los seres humanos, el ganado, flora, fauna y recursos naturales por diversas causas (siendo tóxicos y corrosivos); y su utilización indiscriminada puede contaminar el aire, agua y suelo, obteniendo como consecuencia, elevados niveles de residuos en el agua (OIT 1993).

CONCLUSIONES

Los pozos de agua muestreados tienen niveles de arsénico y manganeso que superan los establecidos por el Reglamento Técnico Salvadoreño “RTS 13.02.01:14”; también superan los parámetros de hierro y plomo en un pozo, y níquel en otro.

Los pozos de agua tienen contaminación por bacterias coliformes totales, *Escherichia coli* y *Pseudomonas aeruginosa*; por tanto, no cumplen el Reglamento Técnico Salvadoreño “RTS 13.02.01:14 Agua. Agua de Consumo Humano. Requisitos de Calidad e Inocuidad” ni con la Norma Salvadoreña Obligatoria “NSO 13.07.02:08. Agua.

Agua Envasada”.

Considerando los parámetros analizados y los parámetros establecidos por la reglamentación nacional, el agua de pozo de los caseríos en estudio, no es apta para consumo humano.

El 84 % de las viviendas tienen el pozo de agua cerca de una posible fuente de contaminación como letrinas, corrales de animales o áreas de cultivos.

66 % de personas utilizan algún tratamiento para purificar el agua, que consumen y que utilizan en sus usos domésticos, como filtros, desinfección con cloro o lejía, tela o manta como tamiz para colar el agua y luego hervirla, el 34 % no realiza ninguna actividad para desinfección del agua antes de utilizarla.

Todos los pobladores han padecido síntomas respiratorios como gripe, congestión nasal, tos y fiebre; síntomas gastrointestinales (diarrea); el 14 % padece de insuficiencia renal.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar, R; García, R; Leiva, R; Ortiz, M; Reyes, C. 2002. Nefropatía terminal en pacientes de un hospital de referencia en El Salvador (en línea). Consultado 25 de mar. 2021. Disponible en: http://www.scielosp.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1020-49892002000900009&lng=en&nrm=iso&tlang=es
- Alonso, J; Losch, L; Merino, L. 2005. Resistencia antimicrobiana en cepas de *Pseudomonas aeruginosa* aisladas de fuentes de agua de la Provincia del Chaco (Argentina). Comunicaciones Científicas y Tecnológicas. Instituto de Medicina Regional UNNE, Corrientes, Argentina. 14 p.
- Álvarez, B; Andrade, B; Calvo, R; Marinero, D; Rodríguez. 2003. Contaminación por arsénico en aguas subterráneas en la provincia de Valladolid: variaciones estacionales. Estudios de la zona no saturada del suelo (en línea). Consultado 5 oct. 2020. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/237568157>
- ANDA (Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados, El Salvador). 2010. Sistemas de abastecimiento de agua potable en El Salvador: Boletín estadístico 2010 (en línea). San Salvador, El Salvador. p. 2. Consultado 4 abr. 2019. Disponible en: <http://www.anda.gob.sv/wp-content/uploads/2015/03/boletin-estadistico-2010.pdf>
- ATSDR (Asociación para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades, Estados Unidos de América). 2008. Resumen de la salud pública: Níquel (en línea). 8 p. Consultado 2 oct. 2020. Disponible en: https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_ph15.pdf
- Barrenechea, A. 2009. Aspectos físicos de la calidad del

- agua (en línea). Consultado 3 abr. 2019. Disponible en: <http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsatrfulltext/tratamiento/manuall/tomol/uno.pdf>
- Brady, M. 2009. Comité de enfermedades infecciosas, 2008-2009 (en línea). Estados Unidos. Consultado 8 ene. 2021. Disponible en: <https://www.elsevier.es/es-revista-pediatrics-10-articulo-consumo-agua-pozos-particulares riesgos-13139825>
- Castrejón, M; Ortiz, M; Sánchez, E. 2014. Contaminación urbana: aspectos fisicoquímicos, microbiológicos y sociales (en línea). Universidad Autónoma del Estado Morelos, México. p. 20-21. Consultado 7 ene. 2021. Disponible en: https://www.uaem.mx/dgds/files/libros/2014_LIBRO_CONTAMINACI%C3%93N%20URBANA%20DEL%20AIRE.%20ASPECTOS%20FISICOQU%20C%3%8D M I C O S %2 C %2 0MICROBIOL%C3%93GICOS%20Y%20SOCIALES.pdf
- CYTED (Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo, España). s. f. Riesgo de enfermedades transmitidas por el agua en zonas rurales (en línea). Consultado 20 dic. 2020. Disponible en: <http://tierra.rediris.es/hidrored/ebooks/ripda/contenido/capitulo13.html>
- Delgado, S; Morales, F. 2015. Detección de *Pseudomonas aeruginosa* y bacterias heterótrofas de aguas envasadas en botellas y bolsas destinadas al consumo humano, comercializadas en la ciudad de Managua en el período diciembre 2014 a enero 2015 (en línea). Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua. p. 20. Consultado 18 dic. 2020. Disponible en: <https://repositorio.unan.edu.ni/1029/1/58359.pdf>
- DOH (Departamento de Salud de Washington, Estados Unidos de América). 2017. Advertencia de salud pública: *E. coli* (en línea). Consultado 18 dic. 2020. Disponible en: <https://www.doh.wa.gov/Portals/1/Documents/Pubs/331-179s.pdf>
- Durán, J; Torres, A. 2006. Los problemas del abastecimiento de agua potable en una ciudad media (en línea). Universidad de Guadalajara, México. 34 p. Consultado 8 ene. 2021. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/espíral/v12n36/v12n36a5.pdf>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Italia). 2020. Empleo rural decente: Condiciones de trabajo (en línea). Consultado 18 dic. 2020. Disponible en: <http://www.fao.org/rural-employment/work-areas/working-conditions/es/>
- FCEA (Fondo para la Comunicación y la Educación Ambiental A.C., México). 2017a. Agua en el planeta (en línea). Consultado 7 may. 2019. Disponible en: <https://agua.org.mx/en-el-planeta/>
- FONAES (Fondo Ambiental de El Salvador). s. f. Recurso hídrico (en línea). Consultado 5 ene. 2021. Disponible en: http://fonaes.gob.sv/?page_id=555#:~:text=El%20agua%20en%20El%20Salvador,el%20mal%20uso%20que%20se
- Gómez, A; Hernández, G; Hernández, S; Juárez, P. 2017. Determinación de hierro y manganeso en el agua subterránea del municipio de Apan, Hidalgo, México (en línea). Universidad Tecnológica de Tula-Tepeji, México. Consultado 27 oct. 2020. Disponible en: http://reaxion.utleon.edu.mx/Art_Determinacion_de_hierro_y_manganeso_en_el_agua_subterranea_del_municipio_de_Apan_Hidalgo_Mexico.html
- Goya, A; Wilde, O. 1997. Calidad bacteriológica de las aguas en plantas faenadoras de la Provincia de Tucumán (en línea). Tucumán, Argentina. Consultado 29 sep. 2020. Disponible en: <https://revistas.unne.edu.ar/index.php/vet/article/download/2779/2460>
- Herrera, P. 2012. Determinación de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de agua de pozo para el consumo humano en las comunidades la arenera, San José y el progreso del municipio de Concepción Batres en el departamento de Usulután (en línea). San Salvador, El Salvador. Consultado 5 feb. 2020. Disponible en: <http://ri.ues.edu.sv/2836/1/Trabajo%20Final.pdf>
- Hidroquil. 2019. Efectos de la salud del hierro en el agua (en línea). Buenos Aires, Argentina. Consultado 21 dic. 2020. Disponible en: <https://www.hidroquil.com.ar/efectos-en-la-salud-del-hierro-en-el-agua/#:~:text=Efecto%20en%20la%20salud%20del%20exceso%20de%20hierro&text=Los%20primeros%20s%C3%ADntomas%20incluyen%20fatiga,del%20h%C3%ADrgado%20y%20la%20diabetes>
- Marchand, E. 2001. Microorganismos indicadores de la calidad del agua de consumo humano en Lima Metropolitana (en línea). Consultado 23 ene. 2020. Disponible en: http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/tesis/basic/marchand_p_e/anteced.htm
- MINSAL (Ministerio de Salud, El Salvador). 2018. Enfermedad Renal Crónica: perfil epidemiológico en El Salvador y Centroamérica (en línea). Consultado 12 feb 2020. Disponible en: https://www.salud.gob.sv/archivos/pdf/cursos/Becas/Curso_UISP-8-2018/presentaciones/dia5_presentaciones28112018/002-Panel-DSS-Carlos-Orantes.pdf
- MINSAL-OSARTEC (Ministerio de Salud, El Salvador y Organismo Salvadoreño de Reglamentación Técnica). 2018. Reglamento Técnico Salvadoreño “RTS 13.02.01:14 Agua. Agua de Consumo Humano. Requisitos de Calidad e Inocuidad”. San Salvador, El Salvador. 22 p.
- MSPAS (Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social, El Salvador). 2004. Norma técnica sanitaria para la instalación, uso y mantenimiento de letrinas secas sin arrastre de agua (en línea). p. 7.

- Consultado 7 ene. 2021. Disponible en: https://www.paho.org/els/index.php?option=com_docman&view=download&alias=1072-norma-letrinas-secas&category_slug=licitaciones&Itemid=364#:~:text=i%20La%20localizaci%C3%B3n%20de%20la,modificada%20con%20direcci%C3%B3n%20de%20la%20de%20la
- OIT (Organización Internacional del Trabajo, Suiza). 1993. Guía sobre seguridad y salud en el uso de productos agroquímicos (en línea). Consultado 27 oct. 2020. p. 34-37. Disponible en: https://www.ilo.org/safework/info/instr/WCMS_235707/lang--es/index.pdf
- OMS (Organización Mundial de la Salud, Suiza). 2006. Guias para la calidad del agua potable: Selección de parámetros para el monitoreo operativo (en línea). p. 65. Consultado 7 ene. 2021. Disponible en: https://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3_es_full_lowsres.pdf
- OMS (Organización Mundial de la Salud, Suiza). 2020. Arsénico: efectos en la salud (en línea). Consultado 17 dic. 2020. Disponible en: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/arsenic#:~:text=La%20exposici%C3%B3n%20prolongada%20al%20ars%C3%A9nico,enfermedades%20cardiovasculares%2C%20neurotoxicidad%20y%20diabetes>
- OMS y UNICEF (Organización Mundial de la Salud, Suiza; Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia, Estados Unidos). 2015. El agua y la salud (en línea). consultado 07 sep. 2021. Disponible en: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>
- OPS-OMS (Organización Panamericana de la Salud, El Salvador y Organización Mundial de la Salud, Suiza). 2013. Apoyo de OPS/OMS ante incremento de insuficiencia renal en El Salvador (en línea). Consultado 28 jul. 2019. Disponible en: https://www.paho.org/els/index.php?option=com_content&view=article&id=121:apoyo-ops-oms-ante-incremento-insuficiencia-renal-salvador&Itemid=291
- PNUD (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, Estados Unidos de América). 2019. Objetivos de Desarrollo Sostenible. ¿Qué son los Objetivos de Desarrollo Sostenible? (en línea). Consultado 28 feb. 2019. Disponible en: <https://www.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals.html>
- Rivera, B; Rock, C. 2014. La calidad del agua, *E. coli* y su salud (en línea). Arizona, Estados Unidos de América. 55 p. Consultado 13 feb. 2020. Disponible en: <https://extension.arizona.edu/sites/extension.arizona.edu/files/pubs/az1624s.pdf>
- Rodríguez Urrutia, EA. 1996. Perspectivas de la capacidad de extensionistas y de pequeños productores de café para el aprendizaje y el cambio tecnológico. Colegio de Postgraduados. Tesis M. Sc. en Desarrollo Rural. Texcoco, México. p. 89.

Validación del rendimiento productivo de tilapias (*Oreochromis sp.*), tomate (*Lycopersicum esculentum L.*) y chile dulce (*Capsicum annuum L.*) en un sistema acuapónico

Artículo científico

Murcia-Meléndez, M.A.

Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias Agronómicas, Departamento de Desarrollo Rural.

Alvarenga-Rivas, K.E.

Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias Agronómicas, Departamento de Desarrollo Rural.

Mártir, J.E.

Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias Agronómicas, Departamento de Desarrollo Rural.

Rodríguez-Urrutia, E.A.

Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias Agronómicas, Departamento de Desarrollo Rural.

Vanegas-Mattheu, A.C.

Ministerio de Agricultura y Ganadería, CENDEPESCA.

Rodríguez-Gracias, O.A.

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

RESUMEN

La investigación se realizó de mayo a octubre de 2022 en el Centro de Desarrollo de la Pesca y Acuicultura (CENDEPESCA) del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), Santa Tecla, La Libertad, El Salvador. El objetivo fue validar cuatro densidades de tilapia (*Oreochromis sp.*) y dos hortalizas, tomate (*Lycopersicum esculentum L.*) y chile dulce (*Capsicum annuum L.*), para evaluar la producción, rendimiento y relación beneficio-costo del sistema acuapónico. Se construyeron cuatro módulos acuapónicos, cada uno con un estanque para peces con capacidad de 5.04 m³, tres filtros con función mecánica y biológica, una cama de siembra con tubos de PVC para las hortalizas, una bomba de recirculación de agua y una de aireación. Se evaluaron ocho tratamientos con tres repeticiones: tomate, chile dulce, y cuatro densidades de siembra de tilapia (40, 60, 80 y 100 peces/m³). Se midieron los parámetros: peso y talla de peces, altura de plantas, número y peso de frutos por planta. Para analizar los datos se utilizó un arreglo factorial 2x4 bajo un diseño completamente al azar, un nivel de significancia del 5 %, y el programa INFOSTAT® 2020. El mayor beneficio neto se obtuvo con la densidad de 100 peces/m³, en tomate con USD112.75 y una tasa de retorno marginal de USD2.49; en chile dulce de USD119.85 y una tasa de retorno marginal de USD2.52.

Palabras Clave: acuaponía, tilapia, *Oreochromis*, tomate, *Lycopersicum esculentum L.*, chile dulce, *Capsicum annuum L.*

ABSTRACT

The research was carried out between May and October 2022 at the Center for the Development of Fisheries and Aquaculture (CENDEPESCA) of the Ministry of Agriculture and Livestock (MAG), in Santa Tecla, La Libertad, El Salvador. The objective was to validate four densities of tilapia (*Oreochromis sp.*) and two vegetables, tomato (*Lycopersicum esculentum L.*) and sweet pepper (*Capsicum annuum L.*), to evaluate the production, performance and cost-benefit ratio of the aquaponic system. Four aquaponic modules were built, each one with a fish pond with a 5.04 m³ capacity, three filters with mechanical and biological functions, a planting bed with PVC tubes for vegetables, a water recirculation pump, and an aeration pump. Eight treatments with three replicates, tomato and sweet pepper, and four stocking densities of tilapia (40, 60, 80 and 100 fish/m³) were evaluated; the following parameters were measured: weight and size of fish, height of plants, number and weight of fruits per plant. To analyze the data, a 2x4 factorial arrangement was used under a completely randomized design, a significance level of 5%, and the INFOSTAT® 2020 program. The highest net benefit was obtained with a density of 100 fish/m³, in tomato with USD112.75 dollars and a marginal rate of return of USD2.49 dollars; in sweet pepper of \$119.85 dollars and a marginal rate of return of USD2.52 dollars.

Key Words: aquaponic, tilapia, *Oreochromis*, tomato, *Lycopersicum esculentum L.*, sweet pepper, *Capsicum annuum L.*



Título en inglés:

Validation of the productive performance of tilapia (*Oreochromis sp.*), tomato (*Lycopersicum esculentum L.*) and sweet pepper (*Capsicum annuum L.*) in an aquaponic system

Correspondencia:
efrain.rodriguez@ues.edu.sv

Presentado:
29 de mayo de 2023

Aceptado:
14 de agosto de 2023



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional

INTRODUCCIÓN

La acuaponía es un sistema de producción sostenible en donde se combina un cultivo acuícola, generalmente peces, y uno hidropónico, -cultivo de vegetales en el que no se emplea suelo- (Rakocy, citado por CENADAC 2011). Estos se unen en un único sistema de recirculación de flujo de agua con desechos orgánicos generados por los peces, que a la vez son convertidos a través de la acción de bacterias benéficas, de amoníaco a nitratos que funcionan como fertilizante para el crecimiento y desarrollo de los vegetales (Martínez y Albertos 2014).

En El Salvador, la acuaponía es un método inusual, ya que muchos productores y familias desconocen los beneficios que ofrece. La acuaponía es una alternativa viable para la reducción de costos, la diversificación productiva y fresca; además, consume muy pocos recursos básicos para su desarrollo (Calderón *et al.* 2019).

El uso del espacio en la acuaponía es más productivo si se compara con cultivos tradicionales donde es necesario tener grandes extensiones de tierra para producir alimentos, por lo tanto, son modelos donde se puede producir y cosechar dentro de las ciudades. La acuaponía permite cultivar en lugares cuya tierra no es apta para hacerlo, ya que no precisa de fertilizantes o químicos en la producción de los alimentos, la reutilización de los residuos que genera su actividad hace que esta nueva forma de cultivo sea el futuro de la producción de alimentos en el mundo entero (Domínguez 2013).

Los sistemas acuapónicos son modelos productivos amigables con el medioambiente, producen bienestar y desarrollo en la región donde se cultivan; gracias a este

tipo de cultivos el planeta tierra también se beneficia, porque la huella de carbono es menor a la que se genera con los modelos productivos tradicionales (Colorado y Ospina 2019).

La investigación tuvo como objetivo validar cuatro densidades de tilapia (*Oreochromis sp.*) y dos hortalizas, tomate (*Lycopersicum esculentum L.*) y chile dulce (*Capsicum annuum L.*), para evaluar la producción, rendimiento y relación beneficio-costo del sistema acuapónico mediante la técnica de la película nutritiva.

Para la realización de la investigación, se contó con el apoyo del Centro de Desarrollo de la Pesca y la Acuicultura (CENDEPESCA), del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) de El Salvador, con la finalidad de proponer una alternativa innovadora de producción sencilla para contribuir a la microeconomía familiar y la seguridad alimentaria y nutricional.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación de la investigación

Se realizó en el periodo de mayo a octubre de 2022 en las instalaciones del Ministerio de Agricultura y Ganadería, ubicado en Santa Tecla, departamento de La Libertad, El Salvador (Figura 1), con coordenadas geográficas Latitud 13° 41' 3", Longitud 89° 17' 12", a una altura de 789 metros sobre el nivel del mar, la temperatura máxima promedio es de 29 °C, una temperatura mínima promedio de 18 °C, precipitación media anual de 1,492 milímetros y una humedad relativa anual de 70 % (Datos tablas y gráficos mensual y anual de las condiciones climáticas en Santa Tecla El Salvador 2018).

Figura 1.
Ubicación de la investigación.



Metodología de campo

En la parte acuícola se cultivó tilapia y en la parte hidropónica, tomate variedad Tacana y chile dulce variedad Magaly R, en un sistema acuapónico bajo la técnica de la película nutritiva (NFT por sus siglas en inglés).

Diseño y construcción del sistema acuapónico

La investigación se ejecutó en una superficie de 60 m², en el cual se delimitaron y nivelaron cuatro áreas, cada una con 15 m², donde se construyó cada estanque.

El sistema acuapónico contó con los siguientes componentes físicos (Figura 2):

Componente A

Estanque para peces, con dimensiones: 3.60 m de largo, 1.40 m de ancho y 1.10 m de profundidad, con capacidad de 5.04 m³ de agua, donde se evaluaron cuatro densidades de siembra de tilapia: 40, 60, 80 y 100 peces/m³. Para la construcción de cada estanque se utilizaron pliegos de electromalla de 6 x 6 x 6 pulgadas (6 m de largo por 2.35 m de ancho) para conformar las paredes de soporte, formando un corral rectangular con postes de bambú de 1.5 m de altura para el soporte de la electromalla. Dentro del corral metálico se colocó una geomembrana de polietileno de alta densidad de 0.75 mm de espesor y grado alimenticio.

Posteriormente se colocó sobre los estanques malla sombra de polietileno de color negro al 75 % de sombra, para disminuir la incidencia del sol sobre el espejo de agua y la producción de microalgas, y evitar la caída de hojas dentro del estanque. También se colocó cobertura

de plástico de polietileno transparente para tratar de mantener las condiciones de temperatura del agua debido a que se tuvieron temperaturas de 18 °C durante la noche madrugada.

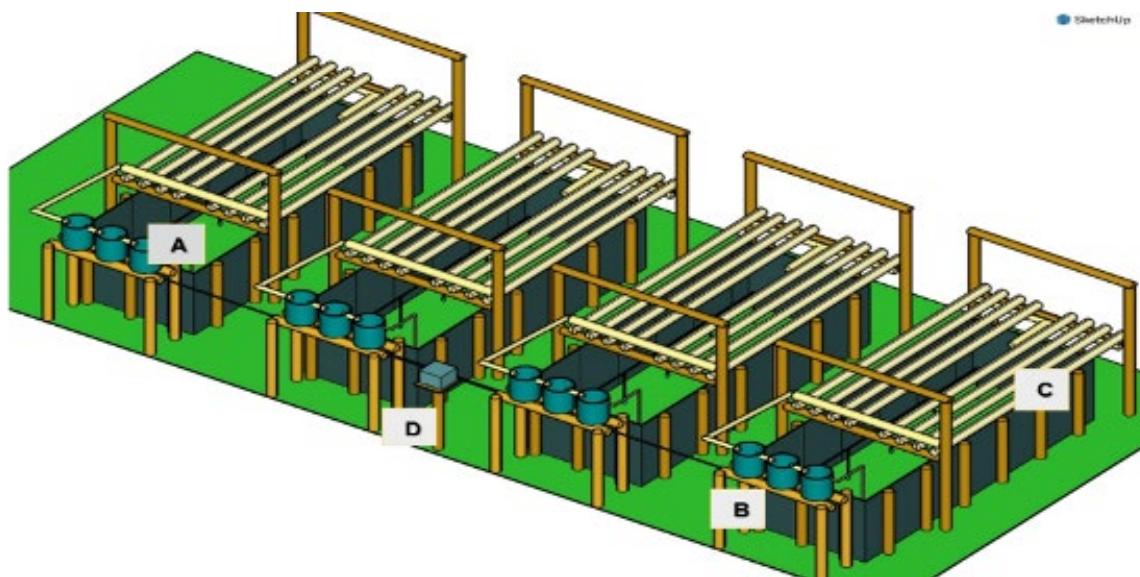
Componente B

Sistema de biofiltros: inició con la nivelación del suelo a lo ancho del estanque, luego se colocaron bloques de concreto y tubos de hierro galvanizado como vigas de soporte. Sobre las bases se colocaron tres barriles plásticos (uno con capacidad de 64 galones y los dos restantes de 36 galones) perforados en sus bases y con tuberías y llaves para realizar el drenaje de sedimentados, el sistema cumplía con la función de filtro mecánico y biológico. En la parte inferior de cada barril, los primeros 15 cm de columna de agua funcionaban como cámara sedimentadora de materia orgánica, favoreciendo el proceso de mineralización; el resto de la columna, hasta llegar al punto del drenaje superior, se llenó con material inerte biofiltrante, estos materiales fueron trozos de pajillas plásticas no biodegradable cortadas de 2 a 3 cm de longitud, bolitas de poliestireno expandible (durapax), los cuales fueron depositados en bolsas de tela de mosquitero. Sobre la bolsa se colocó escoria volcánica de color rojo para aumentar la superficie de alojamiento de bacterias nitrificantes y proporcionarle peso a la bolsa para evitar que flotara.

Los barriles eran abastecidos de agua desde el estanque por medio de una bomba sumergible, la cual llenaba el primer barril, luego el agua continuaba su curso pasando entre barriles hasta salir por el último hacia la cama de siembra.

Figura 2.

Componentes del sistema acuapónico: estanque (A), sistema de biofiltros (B), camas de siembra (C), sistema de aireación (D).



Componente C

Camas de siembra: para su construcción se utilizaron ocho tubos de PVC de 3 m de longitud y cuatro pulgadas de diámetro, a los cuales se le realizaron 15 perforaciones de 2.25 pulgadas de diámetro en línea recta a una distancia de centro a centro, de 0.20 m entre ellos, además se realizó una perforación de ½ pulgada al inicio y al final de cada tubo y se les colocaron tapones machos para luego colocar los tubos de abastecimiento y drenaje de agua. El agua viajaba a través de las tuberías alimentando a las plantas. Seguidamente cada uno fue colocado en las vigas de soporte sobre los estanques y nivelados para mantener una lámina de agua uniforme al interior. Finalmente fueron sujetados al bambú con cinchas plásticas para evitar que se movieran y perdieran su nivel.

Componente D

Sistema de recirculación y aireación: se colocó una bomba aireadora de 20 watts, al centro de los cuatro estanques, la cual se utilizó para distribuir aire por un tubo de ½ pulgada. Se colocaron cinco válvulas plásticas de control de flujo de aire por estanque, dando paso al aire a través de mangueras y piedras aireadoras colocadas al centro de los estanques. Se colocaron bombas sumergibles, Little Giant de 1/6 de HP, para aumentar la aireación en el agua de los estanques. Para llevar agua de los estanques a los barriles, se utilizó una bomba sumergible de 35.5 watts

Limpieza, llenado de estanques y siembra de alevines

Previo a la siembra de los alevines, se limpiaron y desinfectaron internamente las paredes de cada uno de los estanques con solución de hipoclorito de sodio (NaClO) al 5 %, y se dejó por 24 horas, posteriormente se lavaron con suficiente agua hasta quitar por completo la película de solución desinfectante; luego se procedió al llenado de cada estanque con agua potable dejándola reposar por siete días para la volatilización del cloro antes de la siembra de los alevines.

Los alevines fueron trasladados desde la Estación Acuícola de Atiocoyo a Santa Tecla en bolsas plásticas con 25 % de agua y 75 % de oxígeno puro, la siembra dio inicio con la aclimatación, dejando las bolsas de alevines flotando durante 30 minutos en el agua de cada estanque para disminuir el estrés por el choque térmico.

Para depositar los alevines en el agua, se realizó el conteo de estos en cada estanque, colocando la cantidad establecida para cada tratamiento, más 10 % por posibles mortalidades. Los alevines presentaron pesos entre 5 a 10 gramos, con un promedio de 5.41 g por individuo.

Manejo del alimento

La cantidad de alimento proporcionado se calculó mediante muestreos biométricos cada siete días; se suministró, diariamente, alimento balanceado comercial en forma de pellet, distribuido en cuatro raciones al día: por la mañana a las 9:00 a. m. y 11:00 a. m. y por la tarde a la 1:00 p. m. y 3:00 p. m. Los porcentajes de proteína utilizados fueron 38 % durante el primer mes y 32 % de proteína para los tres meses restantes.

Por problemas de falta de apetito en los peces, provocado por bajas temperaturas en el agua, se adicionó 10 g de probiótico por libra de alimento durante el primer mes y 5 g a partir del segundo mes, esto permitió a los peces, no solo, incrementar el apetito, sino la tasa de crecimiento y la resistencia a enfermedades.

Manejo de los cultivos de tomate y chile dulce

La variedad de tomate que se utilizó fue Tacana y la de chile dulce fue Magaly R, ambas son de crecimiento semideterminado. Los plantines de tomate fueron trasladados desde San Juan Opico y los de chile dulce desde Cojutepeque, en bandejas plásticas de almácigo con 22 días de edad desde su germinación.

Los plantines fueron colocados en conos fabricados de geomembrana, a los cuales se les colocó una tira de tela con el propósito de que, por capilaridad, subiera el agua a la raíz, ya que el nivel de agua dentro de los tubos era bajo con respecto a la longitud de las raíces durante las primeras semanas; seguidamente fueron ubicados sobre cada agujero de los tubos de PVC de cuatro pulgadas y se les agregó cascajo volcánico de color rojo para brindarle fijeza a cada planta. Los plantines fueron trasplantados 15 días después de haber realizado la siembra de los alevines y 15 días después se realizó el tutorado vertical de forma individual con «pita rafia», con el fin de evitar el doblamiento de las plantas y mantener un crecimiento erguido para conseguir mejor iluminación y ventilación entre plantas.

La fertilización de las plantas fue por medio de la transformación de los desechos metabólicos de los peces, convirtiendo el amonio en nitrato y de la mineralización de microelementos en el biofiltro, además, al follaje se le aplicaron fertilizantes foliares multiminerales orgánicos y estimulantes o fórmula enraizadora para mejorar el crecimiento radicular.

El control de plagas y enfermedades se realizó a través de poda de hojas, eliminación de plantas dañadas, control biológico a través de insectos depredadores como Coccinélidos, uso de repelentes orgánicos como el alcotabaco (mezcla de alcohol y tabaco) y apichi (mezcla de ajo, pimienta y chile), ambos utilizados para el control

de insectos chupadores y masticadores, y agua jabonosa para el control de áfidos.

Muestreo de peces

Los muestreos se realizaban semanalmente utilizando una atarraya para la captura de los peces, una regla graduada en centímetros y una báscula semianalítica.

El muestreo consistió en capturar 30 peces de cada estanque, se midieron desde la cabeza hasta la cola y se pesaron (Figuera 3), el peso total de la muestra se dividió entre los 30 peces muestreados para obtener el peso promedio, este dato sirvió para calcular la cantidad de alimento a proporcionar a los peces a través de los porcentajes que indican las tablas de alimentación según el peso de los individuos, dichas tablas establecen el porcentaje diario de alimento para cada etapa según el peso alcanzado.

Figura 3.
Medición y pesaje de muestras de peces.



Muestreo de plantas

Los muestreos se realizaban semanalmente, se utilizó una regla graduada durante las primeras cinco semanas y luego se utilizó cinta métrica. En el momento de la cosecha de frutos se utilizó una balanza semianalítica para el pesaje y un Vernier para medición.

El muestreo consistió en medir tres plantas por tratamiento, desde la base del tallo hasta la parte más alta de la planta. La cosecha comprendió el corte y pesaje de los frutos de las plantas seleccionadas y del total de frutos por cada tratamiento.

Mantenimiento de los sistemas acuapónicos

Actividades realizadas diariamente: comprobación visual del estado de salud a través del comportamiento de los peces, retiro de peces muertos, preparación de raciones de alimento y alimentación de peces, observación de las plantas para descartar la presencia de plagas o enfermedades, control de plagas, verificación del funcionamiento de los equipos eléctricos (bombas de recirculación de agua, sistemas venturi, bombas de

aireación y piedras aireadoras), control del nivel del agua en los estanques y llenado del agua faltante, control de fugas de agua en tuberías o mangueras, verificación del flujo normal de agua y de posibles obstrucciones, toma de parámetros físicos del agua (oxígeno, saturación y temperatura).

Actividades realizadas semanalmente: recambios de agua en los estanques cada vez que se tenían niveles elevados de amonio o de turbidez, control de los parámetros físico-químicos del agua (transparencia o turbidez, nitratos, nitritos, potencial de hidrógeno, alcalinidad, dureza y amonio), aplicación de fertilizante foliar a las plantas, podas de limpieza y de formación en plantas, tutorado de plantas, limpieza de piedras aireadoras, muestreo de plantas y peces, aplicación de sal, y medicamentos para peces. La sal ayuda a contrarrestar el estrés ocasionado por el manejo durante los muestreos, para restaurar la osmorregulación, prevenir y controlar enfermedades, y para mejorar el estado general de los peces.

Actividades realizadas mensualmente: limpieza de bombas de recirculación de agua, del material filtrante, de sistemas venturi, de biofiltros y su drenaje.

Metodología de laboratorio

Para medir el oxígeno disuelto, porcentaje de saturación de oxígeno y la temperatura del agua se utilizó un medidor de oxígeno disuelto; para medir la turbidez del agua se usó un disco secchi, el cual se sumergía verticalmente en el estanque hasta que se dejaba de observar; para medir el pH, nitratos, nitritos, dureza y alcalinidad, se utilizaron tiras de pruebas colorimétricas, las cuales se sumergían en el agua, se giraban dos veces y al sacarlas del agua se esperaba 30 segundos para su lectura. Para la prueba de amonio, se utilizaron tiras del mismo tipo, se sumergían en el agua por cinco segundos y se esperaba un minuto para su lectura.

Tabla 1.

Tratamientos evaluados en la investigación..

| Factor A (hortalizas) | Factor B (densidad de siembra) | Tratamiento | Detalle del tratamiento |
|-----------------------|--------------------------------|---------------------------------------|---|
| H1: Tomate | D1: 40 peces/m ³ | Testigo relativo o Tratamiento 1 (T1) | Tomate más 40 peces/m ³ de tilapia |
| H1: Tomate | D2: 60 peces/m ³ | Tratamiento 2 (T2) | Tomate más 60 peces/m ³ de tilapia |
| H1: Tomate | D3: 80 peces/m ³ | Tratamiento 3 (T3) | Tomate más 80 peces/m ³ de tilapia |
| H1: Tomate | D4: 100 peces/m ³ | Tratamiento 4 (T4) | Tomate más 100 peces/m ³ de tilapia |
| H2: Chile dulce | D1: 40 peces/m ³ | Testigo relativo o Tratamiento 5 (T5) | Chile dulce más 40 peces/m ³ de tilapia |
| H2: Chile dulce | D2: 60 peces/m ³ | Tratamiento 6 (T6) | Chile dulce más 60 peces/m ³ de tilapia |
| H2: Chile dulce | D3: 80 peces/m ³ | Tratamiento 7 (T7) | Chile dulce más 80 peces/m ³ de tilapia |
| H2: Chile dulce | D4: 100 peces/m ³ | Tratamiento 8 (T8) | Chile dulce más 100 peces/m ³ de tilapia |

Para la organización, procesamiento y análisis estadístico de los datos, se utilizaron métodos descriptivos univariados como gráficas y medidas de tendencia central. A todas las variables se les aplicó análisis de varianza (ANOVA). Se utilizó la prueba estadística de Tukey (comparación múltiple de medias) para comparar las medias de los tratamientos y determinar cuál produce los mejores efectos en las variables en estudio. Todo el análisis se realizó con un nivel de significancia (alfa α) del 5 % (0.05) y mediante la utilización de hojas de cálculo de Microsoft Excel® 2016 y el programa estadístico Infostat® 2020 (Rodríguez 2021).

Presupuesto parcial

El análisis económico se elaboró mediante el presupuesto parcial y beneficios netos, el cual se realizó con la finalidad de calcular el costo beneficio de la producción de los

Metodología estadística

Para el análisis de datos se aplicó un arreglo factorial 2x4 bajo un diseño completamente al azar, esto por las condiciones controladas en los estanques (parámetros fisicoquímicos del agua) y las características similares del material experimental (alevines de tilapia de la misma edad, hortalizas de la misma variedad, fecha de siembra y trasplante).

Los tratamientos que se evaluaron en la investigación fueron ocho: combinaciones de dos hortalizas (tomate y chile dulce) y cuatro densidades de siembra de tilapia (40, 60, 80 y 100 peces/m³), con tres repeticiones (Tabla 1).

cultivos de tilapia y hortalizas (tomate y chile dulce) en cada uno de los estanques.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Talla de peces

La mayor talla promedio de los peces de tilapia se obtuvo a los 120 días después de la siembra con la densidad 2 (60 peces/m³) con 10.96 cm, seguido por la densidad 4 (100 peces/m³) con 9.91 cm, luego la densidad 1 (40 peces/m³) con 9.71 cm, y por último la densidad 3 (80 peces/m³) con 9.24 cm. Se demostró estadísticamente con probabilidad (p-valor) de 0.7465, mayor que la significancia estadística (α) = 0.05, que las densidades de siembra de 60 y 100 peces/m³ mostraron similares efectos en la talla de los peces (Tabla 2).

Tabla 2.

Medidas resumen y análisis de varianza de la talla de tilapias.

| Densidad de peces/m ³ | Variables | Media | Desviación estándar | Coeficiente de variación | p-valor |
|----------------------------------|----------------------------|-------|---------------------|--------------------------|---------|
| D1 | Talla de peces muestreo 16 | 16.57 | 1.07 | 6.48 | 0.7465 |
| D2 | | 17.31 | 2.33 | 13.47 | |
| D3 | | 16.47 | 1.8 | 10.93 | |
| D4 | | 17.46 | 2.22 | 12.74 | |

Estos resultados difieren con lo reportado por Ascencio *et al.* (2019), quienes evaluaron un modelo de acuaponía en la producción de biomasa de tilapia y lechuga en la Estación Acuícola de Santa Cruz Porrillo del Centro de Desarrollo de la Pesca y Acuicultura (CENDEPESCA) del Ministerio de Agricultura y Ganadería de El Salvador, ubicada a 35 m. s. n. m. y con temperatura de 37 °C, obteniendo una talla promedio de 14.1 cm para una densidad de siembra de 50 peces/m³ durante 120 días; esta diferencia se atribuye a las condiciones ambientales en las que se realizó la investigación con una altitud de 789 m. s. n. m. y temperaturas de 18 a 29 °C. Saavedra (2006), afirma que los peces deben encontrarse en rangos óptimos de temperatura (25 a 32 °C) para que su crecimiento y salud no se vea afectado por la aparición de enfermedades a causa de bajas temperaturas.

Ganancia de talla de los peces

Se demostró con una probabilidad (p-valor) de 0.4540,

mayor que la significancia estadística (α) = 0.05, que las densidades de siembra D1 (40 peces/m³), D2 (60 peces/m³), D3 (80 peces/m³) y D4 (100 peces/m³), no presentaron diferencias estadísticas significativas en la ganancia de talla de las tilapias (Tabla 3).

Peso de los peces

El mayor peso promedio de los peces de tilapia se obtuvo a los 120 días después de la siembra con la densidad 2 (60 peces/m³) con 111.18 g, seguido por la densidad 4 (100 peces/m³) con 102.81 g, luego la densidad 3 (80 peces/m³) con 95.20 g, y por último la densidad 1 (40 peces/m³) con 91.74 g. Se demostró estadísticamente con probabilidad (p-valor) de 0.8177, mayor que la significancia estadística (α) = 0.05, que las densidades de siembra de 60 y 100 peces/m³ mostraron similares efectos en el peso de los peces (Tabla 4).

Tabla 3.

Medidas resumen y análisis de varianza de la ganancia de talla en las tilapias.

| Densidad de peces/m ³ | Variables | Media | Desviación estándar | Coeficiente de variación | p-valor |
|----------------------------------|------------------------|-------|---------------------|--------------------------|---------|
| D1 | Ganancia de talla (cm) | 9.71 | 0.66 | 6.81 | 0.4540 |
| D2 | | 10.96 | 2.18 | 19.92 | |
| D3 | | 9.24 | 1.99 | 21.49 | |
| D4 | | 9.91 | 2.19 | 22.12 | |

Tabla 4.

Medidas resumen y análisis de varianza del peso en las tilapias.

| Densidad de peces/m ³ | Variables | Media | Desviación estándar | Coeficiente de variación | p-valor |
|----------------------------------|------------------|--------|---------------------|--------------------------|---------|
| D1 | Peso muestreo 16 | 97.7 | 14.91 | 15.26 | 0.8177 |
| D2 | | 115.3 | 41.51 | 36 | |
| D3 | | 100.86 | 29.45 | 29.2 | |
| D4 | | 109.69 | 47.15 | 42.98 | |

Juárez (2016), evaluó parámetros biológicos de tilapia gris en un sistema acuapónico en la granja acuícola El Alevín, Veracruz, México, ubicada entre 10 - 500 m. s. n. m. con temperatura anual de 22 - 26 °C, pH 7.2 – 8.0, oxígeno disuelto 5.7 mg/L al inicio y 4.3 mg/L al final, obteniendo como resultado una ganancia de peso de 100.30 g para una densidad de siembra de 45 peces/m³ durante un periodo de 120 días; esta similitud en ganancia de peso se debe a los parámetros fisicoquímicos del agua y la temperatura en la que se realizó esta investigación que fue de 19-26 °C, pH 8.5, oxígeno disuelto 6.37 mg/L al inicio y 4.55 mg/L al final.

Baños *et al.* (2020), afirman que la ganancia de peso en los peces depende principalmente de la alimentación y del oxígeno disuelto presente en el agua.

Ganancia de peso

Se demostró con una probabilidad (p-valor) de 0.7868, mayor que la significancia (α) = 0.05, que las densidades de siembra D1 (40 peces/m³), D2 (60 peces/m³), D3 (80 peces/m³) y D4 (100 peces/m³), no presentaron diferencias estadísticas significativas en la ganancia de peso de las tilapias (Tabla 5).

Tabla 5.

Medidas resumen y análisis de varianza de la ganancia de peso en las tilapias.

| Densidad de peces/m ³ | Variables | Media | Desviación estándar | Coeficiente de variación | p-valor |
|----------------------------------|----------------------|--------|---------------------|--------------------------|---------|
| D1 | Ganancia de peso (g) | 91.74 | 14.33 | 15.62 | 0.7868 |
| D2 | | 111.18 | 41.51 | 37.34 | |
| D3 | | 95.2 | 29.94 | 31.45 | |
| D4 | | 102.81 | 47.31 | 46.02 | |

Tabla 6.

Medidas resumen y análisis de varianza de la altura de plantas de tomate y chile dulce, y las densidades de tilapias.

| Combinación de hortalizas con densidad de peces (factor AxB) | Variable | Media | Desviación estándar | Coeficiente de variación (%) | p-valor |
|--|--|-------|---------------------|------------------------------|---------|
| T1: tomate con 40 peces/m ³ | Ganancia de altura (cm) muestreo 12 | 47.17 | 14.51 | 30.77 | 0.0023 |
| T2: tomate con 60 peces/m ³ | | 35.00 | 5.89 | 16.84 | |
| T3: tomate con 80 peces/m ³ | | 62.5 | 6.38 | 10.21 | |
| T4: tomate con 100 peces/m ³ | | 82.17 | 8.43 | 10.26 | |
| T5: chile dulce con 40 peces/m ³ | | 39.5 | 6.24 | 15.81 | |
| T6: chile dulce con 60 peces/m ³ | | 33.83 | 10.68 | 31.51 | |
| T7: chile dulce con 80 peces/m ³ | | 37.50 | 6.26 | 16.71 | |
| T8: chile dulce con 100 peces/m ³ | | 38.17 | 6.05 | 15.85 | |

Durante la investigación las plantas de tomate presentaron deficiencias nutricionales de potasio, lo que provocó quemaduras en los bordes de las hojas, arrugamiento y encogimiento de las hojas. La deficiencia de boro ocasiona malformaciones en brotes nuevos y frutos pequeños originando bajo crecimiento y desarrollo en ambos cultivos. Las plantas de chile con deficiencia de fósforo presentaron coloración violeta en las hojas.

McCauley *et al.* (2011), afirman que la deficiencia de potasio puede reducir el crecimiento de las plantas y la deficiencia de magnesio puede causar problemas durante el proceso de fotosíntesis, provocando quemaduras en las hojas.

Graber citado por Villalobos y Gonzales (2016), menciona que el requerimiento de potasio es bajo para el desarrollo de los peces, por lo que en la dieta no se incluye, a raíz de esto, es necesario aplicar los nutrientes, requeridos para el desarrollo de las plantas, de manera foliar para que no afecte el bienestar de los peces, ya que las cantidades

demandadas de nutrientes por las hortalizas de fruto son mayores.

Número de frutos de tomate por planta

El mayor número de frutos en las plantas de tomate se obtuvo con el tratamiento 4 (100 peces/m³) con 4.11 frutos; los tratamientos 1 (40 peces/m³), tratamiento 2 (60 peces/m³) y tratamiento 3 (80 peces/m³) no produjeron.

Número de frutos de chile dulce por planta

El mayor número de frutos en las plantas de chile dulce se obtuvo con el tratamiento 6 (60 peces/m³) con 2.28 frutos, seguido por el tratamiento 5 (40 peces/m³) con 2.07 frutos, luego el tratamiento 8 (100 peces/m³) con 1.40 frutos, y por último el tratamiento 7 (80 peces/m³) con 1.0 frutos. Se demostró con una probabilidad (p-valor) de 0.0166, menor que el nivel de significancia (α) = 0.05, que el cultivo de tomate y chile dulce presentaron diferencias significativas en cuanto al número de frutos (Tabla 7).

Tabla 7.

Medidas resumen y análisis de varianza del número de frutos en tomate y chile dulce, y tilapia.

| Combinación de hortalizas con densidad de peces (factor AxB) | Variable | Media | Desviación estándar | Coeficiente de variación (%) | p-valor |
|--|------------------|-------|---------------------|------------------------------|---------|
| T1: tomate con 40 peces/m ³ | Número de frutos | 0.00 | 0.00 | — | 0.0166 |
| T2: tomate con 60 peces/m ³ | | 0.00 | 0.00 | — | |
| T3: tomate con 80 peces/m ³ | | 0.00 | 0.00 | — | |
| T4: tomate con 100 peces/m ³ | | 4.11 | 2.53 | 61.44 | |
| T5: chile dulce con 40 peces/m ³ | | 2.07 | 0.9 | 43.64 | |
| T6: chile dulce con 60 peces/m ³ | | 2.28 | 1.17 | 51.22 | |
| T7: chile dulce con 80 peces/m ³ | | 1.00 | 0.00 | 0.00 | |
| T8: chile dulce con 100 peces/m ³ | | 1.40 | 0.69 | 49.49 | |

En esta investigación no se produjeron muchos frutos de tomate y chile dulce, debido a que en las primeras semanas las raíces no tuvieron contacto directo con la lámina de agua que circulaba por los tubos de PVC, causando estrés en las plantas, lo que provocó una floración y fructificación anticipada sin que llegara a cuajar.

En esta investigación el pH del agua de los estanques se mantuvo entre 8 y 9, lo que condujo a una absorción insuficiente de nutrientes por parte de las plantas, esto ocasionó un bajo rendimiento de frutos de tomate y chile dulce, ya que estos cultivos requieren pH de 5.5 a 6.5, como lo menciona López (2019).

Leal (2017) en su estudio sobre rangos óptimos de pH para el desarrollo de tomate y tilapia en acuaponía, estableció

3 tratamientos en intervalos de pH de 6 – 7; 7 - 8; 8 - 9, mencionando que el pH de 6 - 7 se mantuvo sin diferencia estadística en el número de frutos por racimo. Los pH de 6 - 7 y de 7 – 8, fueron diferentes estadísticamente solo en el tercer racimo en rendimiento y en el primer racimo en número de frutos. El pH de 8 – 9, siempre fue el peor, respecto a los demás tratamientos.

Peso de los frutos de tomate

El mayor peso se obtuvo con el tratamiento 4 (100 peces/m³) con 134.07 g; los tratamientos 1 (40 peces/m³), tratamiento 2 (60 peces/m³) y tratamiento 3 (80 peces/m³) no produjeron.

Peso de los frutos de chile dulce

El mayor peso se obtuvo con el tratamiento 6 (60 peces/m³) con 64.12 g, seguido por el tratamiento 5 (40 peces/m³) con 55.30 g, luego el tratamiento 8 (100 peces/m³) con 32.83 g y por último el tratamiento 7 (80 peces/m³) con 32.57 g.

Se demostró con una probabilidad (p-valor) de 0.0014, menor que el nivel de significancia (α) = 0.05, que el cultivo de tomate y chile dulce presentaron diferencias estadísticas significativas en el peso de los frutos (Cuadro 8).

Juárez (2016), evaluó los parámetros biológicos de la tilapia gris al implementar un sistema acuapónico utilizando los sistemas NFT y cama con sustratos, obteniendo que las plantas de tomate y chile trasplantadas al sistema NFT, no se desarrollaron correctamente debido a que los vegetales que dan frutos requieren mayor demanda nutricional.

Diver (1996) y Villalobos y González (2016), afirman que las plantas que producen frutos, necesitan de sistemas más complejos, ya que el agua en acuaponía no logra suplir las necesidades nutricionales para el cultivo de tomate, ya que es más demandante en cantidad de nutrientes comparados con los cultivos de hojas.

Costo beneficio del establecimiento y producción del sistema acuapónico

Para evaluar la construcción de cada módulo acuapónico se realizó un cálculo de costos de los materiales e insumos utilizados en la investigación, con el propósito de contar con una nueva alternativa de ingresos para productores

de tilapia en El Salvador. En el estanque 1 se realizó una inversión de USD 523.77, en el estanque 2 USD 528.17, estanque 3 USD 532.57 y en el estanque 4 USD 536.97, teniendo un costo total de USD 2,298.63 por los cuatro estanques. Como resultado de la investigación se demuestra que los sistemas acuapónicos son rentables, esto se atribuye principalmente al cultivo de tilapia, siendo las hortalizas un valor agregado en el sistema de producción.

En los tratamientos donde se cultivó tomate con las diferentes densidades de tilapia, el mayor beneficio neto se obtuvo con el tratamiento 4 (tomate con 100 peces/m³) con USD 112.75, y el menor beneficio neto se obtuvo con el tratamiento 1 (tomate con 40 peces/m³) con USD 31.31. En los tratamientos donde se cultivó chile dulce con las diferentes densidades de tilapia, el mayor beneficio neto se obtuvo con el tratamiento 8 (chile dulce con 100 peces/m³) con USD 119.85, y el menor beneficio neto se obtuvo con el tratamiento 5 (chile dulce con 40 peces/m³) con USD 36.12 (Figura 4).

Tasa de retorno marginal (TRMg)

Se determinó que por cada dólar que se invierte en el cultivo de tomate con una densidad de 100 peces/m³ el productor recupera el dólar invertido y obtiene USD 2.49 adicionales; es decir que el productor obtendrá una TRMg del 249.37 % de su inversión total.

Se determinó que por cada dólar que se invierte en el cultivo de chile dulce con una densidad de 100 peces/m³ el productor recuperará el dólar invertido y obtiene USD 2.52 adicionales, es decir que el productor obtendrá una TRMg del 252.68 % de su inversión total.

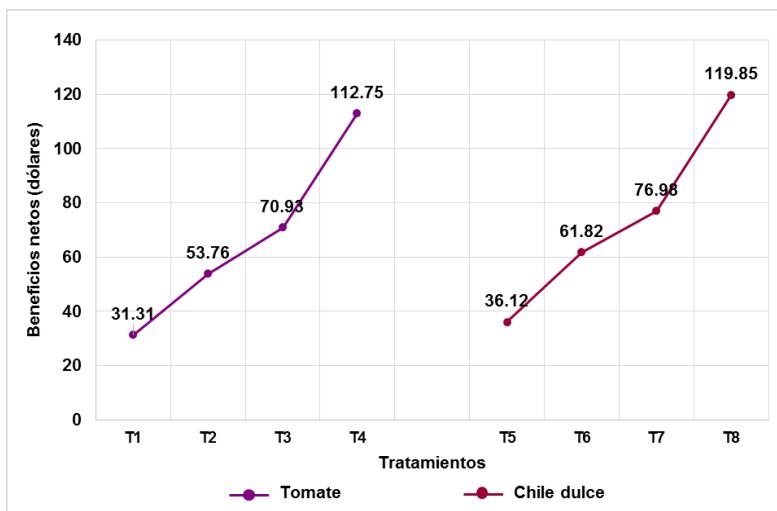
Tabla 8.

Medidas resumen y análisis de varianza del peso de frutos en tomate y chile dulce, y tilapia.

| Combinación de hortalizas con densidad de peces (factor AxB) | Variable | Media | Desviación estándar | Coeficiente de variación (%) | p-valor |
|--|--------------------|--------|---------------------|------------------------------|---------|
| T1: tomate con 40 peces/m ³ | Peso de frutos (g) | 0.00 | 0.00 | - | 0.0014 |
| T2: tomate con 60 peces/m ³ | | 0.00 | 0.00 | - | |
| T3: tomate con 80 peces/m ³ | | 0.00 | 0.00 | - | |
| T4: tomate con 100 peces/m ³ | | 134.07 | 79.57 | 59.35 | |
| T5: chile dulce con 40 peces/m ³ | | 55.3 | 16.21 | 29.32 | |
| T6: chile dulce con 60 peces/m ³ | | 64.12 | 23.98 | 37.39 | |
| T7: chile dulce con 80 peces/m ³ | | 32.57 | 18.56 | 56.98 | |
| T8: chile dulce con 100 peces/m ³ | | 32.83 | 30.40 | 95.92 | |

Figura 4.

Curva de beneficios netos del cultivo de tomate y chile dulce.



CONCLUSIONES

El mayor peso de las tilapias (111.18 gramos) y la mayor talla (10.96 cm), se obtuvo con la densidad de siembra de 60 peces/m³ a los 120 días después de la siembra de los alevines.

En el tratamiento 4 (100 peces/m³), se obtuvo el mayor número de frutos de tomate (4.11 unidades), el mayor peso de los tomates (134.07 gramos) y la mayor altura de la planta de tomate (69.9 cm).

En el tratamiento 6 (60 peces/m³) se obtuvo el mayor número de frutos de chile dulce (2.28 unidades) y el mayor peso de los chiles (64.12 gramos).

El mayor beneficio neto en el cultivo de tomate y tilapia, y en el cultivo de chile dulce y tilapia se obtuvo con la densidad de 100 peces/m³, para tomate con USD 112.75 y una tasa de retorno marginal de 249.37 % o USD 2.49, y para el chile dulce de USD 119.85 y una tasa de retorno marginal de 252.68 % o USD 2.52.

Las bajas temperaturas debilitan el sistema inmunológico de las tilapias, provocando la aparición de enfermedades y reduciendo el consumo de alimento, retardando su crecimiento y desarrollo.

AGRADECIMIENTOS

Al Centro de Desarrollo de la Pesca y Acuicultura (CENDEPESCA), por financiar nuestro proyecto y confiar en nuestro trabajo y a todo el personal en el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), por su apoyo durante la fase de campo.

A la Universidad de El Salvador y a la Facultad de Ciencias

Agronómicas y a su personal docente por ser parte de este proceso de formación académica y profesional.

BIBLIOGRAFÍA

- Ascencio Quintanilla, SV; Del Valle Campos, GE; Velásquez Alfaro, GA. 2019. Evaluación de un modelo de acuaponía en la producción de biomasa de tilapia (*Oreochromis niloticus*) y lechuga (*Lactuca sativa*) en El Salvador (en línea). Tesis Ing. Agr. San Salvador, El Salvador, UES. Consultado 31 oct. 2022. Disponible en <https://ri.ues.edu.sv/id/eprint/19029/1/13101681.pdf>
- Baños Sánchez, DJ; Carrillo Galdámez, LE; López Alvarenga, CA; Portillo Pérez, CB; Sáenz Nolasco, NE. 2020. Análisis comparativo del rendimiento de la tilapia de la línea híbrido gift (*Oreochromis niloticus*) utilizando estanques sobre suelo con geomembrana blanca vs negra (en línea). Tesis Ing. Agr. San Miguel, El Salvador, UES. Consultado 01 nov. 2022. Disponible en <https://ri.ues.edu.sv/id/eprint/23353/1/ANALISIS%20COMPARATIVO%20DEL%20RENDIMIENTO%20DE%20TILAPIA%20EN%20ESTANQUES%20SOBRE%20SUELO.pdf>
- Calderón García, DM; Olivas García, JM; Luján Álvarez, C; Ríos Villagómez, SH; Hernández Salas, J. 2019. Factibilidad económica y financiera de un sistema de producción acuapónico de tilapia, lechuga y langostino de río en Delicias, Chihuahua, México. Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes, 27(77):5-11. Consultado 16 mar. 2020. Disponible en <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/7163180.pdf>
- CENADAC (Centro Nacional de Desarrollo Acuícola, Argentina). 2011. Introducción a la acuaponía (en línea). San Cosme, Argentina. Consultado 08

- mar. 2020. Disponible en <http://chilorg.chil.me/download-doc/86262>
- Colorado Gómez, MA; Ospina Correa M. 2019. La acuaponía como herramienta de formación en tiempos de paz (en línea). Bogotá, Colombia. 61 p. Consultado 22 abr. 2020. Disponible en https://repositorio.sena.edu.co/bitstream/handle/11404/5555/acuaponia_como_herramienta_de_formaci%C3%B3n.pdf?sequence=3
- Datos tablas y gráficos mensual y anual las condiciones climáticas en Santa Tecla El Salvador. 2018. (en línea, sitio web). Consultado 3 feb. 2023. Disponible en <http://hikersbay.com/climate-conditions/el salvador/santatecla/clima-en-santa-tecla.html?lang=es>.
- Diver, S. 1996. Integración de la hidroponía con la acuicultura. Tecnología apropiada transferencia para zonas rurales y centro nacional de tecnología apropiada (en línea). ATTRA. 163(1): 1-20. Consultado 18 nov. 2022. Disponible en <https://backyardaquaponics.com/Travis/aquaponic.pdf>
- Domínguez, R. 2013. Acuaponía = Sustentabilidad Acuícola, México (en línea). Revista Divulgación Acuícola (11):11-15. Consultado 9 mar. 2021. Disponible en https://issuu.com/divulgacionacuicola/docs/revista_divulgacion_acuicola_agosto
- Juárez Carballo, LE. 2016. Evaluación de los parámetros biológicos de la tilapia gris *Oreochromis niloticus* mediante la implementación de un sistema acuapónico (en línea). Tesis. M. Sc. SNP. Veracruz, México, UV. Consultado 31 oct. 2022. Disponible en <https://www.uv.mx/pozarica/egia/files/2017/05/Luis-Enrique-Juarez.pdf>
- Leal, OG. 2017. Rango de pH óptimo para el desarrollo de tomate (*Solanum lycopersicum L.*) y tilapia (*Oreochromis niloticus*) en acuaponía (en línea). Tesis M.Sc. Montecillo, Texcoco. Estado de México, COP. Consultado 08 nov. 2022. Disponible en http://colposdigital.colpos.mx:8080/jspui/bitstream/10521/3983/1/Leal_Ayala_OG_MC_Edafologia_2017.pdf
- López Jaime, JA. 2019. Cultivo acuaponico: guía especializada (en línea). Málaga, España. CIFAL. Consultado 02 nov. 2022. Disponible en <https://cifalmalaga.org/web/wp-content/uploads/2020/04/2019.11.07-LIBRO-ACUAPONIA.pdf>
- Martínez Yañez, R; Albertos Alpuche, PJ. 2014. La Acuaponía como herramienta didáctica (en línea). San Cristóbal de las Casas, Chiapas. Consultado 08 mar. 2020. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/272167344_La_acuaponia_como_herramienta_didactica_para_la_ensenanza_de_la_ciencia_y_la_tecnologia
- McCauley, A; Jones, C; Jacobsen, J. 2011. Nutriente vegetal funciones y deficiencia y síntomas de toxicidad (en línea). 9:1-14. Consultado 07 nov. 2022. Disponible en <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/24770/1/T-IASA%20I-005599.pdf>
- Rodríguez Gracias, O.A. 2021. Análisis descriptivo e inferencial (entrevista). San Salvador, El Salvador.
- Saavedra Martínez, MA. 2006. Manejo del cultivo de tilapia (en línea). Managua, Nicaragua. CIDEA. Consultado 21 dic. 2019. Disponible en <https://www.crc.uri.edu/download/MANEJO-DEL-CULTIVO-DE-TILAPIA-CIDEA.pdf>
- Villalobos Reyes, S; González Pérez, E. 2016. Determinación de la relación pez planta en la producción de tomate (*Lycopersicum esculentum L.*) en sistema de acuaponía (en línea). Rev. Méx. Ciencias Agrícolas 7:983-992. Consultado 03 nov. 2022. Disponible en https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342016000500983

Efecto del ácido salicílico sobre el rendimiento del frijol común (*Phaseolus vulgaris*) Var. CENTA Sequía

Artículo científico

Serrano-Peraza, W.V.

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

RESUMEN

Con el propósito de evaluar el efecto del ácido salicílico sobre el rendimiento del frijol común (*Phaseolus vulgaris*) Var. CENTA Sequía, se estableció un experimento en el invernadero del Departamento de Sanidad Vegetal de la Universidad de El Salvador. La investigación se realizó desde mayo de 2022 hasta octubre de 2022. Se establecieron cinco tratamientos con veinte repeticiones cada uno. Los tratamientos aplicados fueron T0 tratamiento del cultivo con agua, T1 aplicación de ácido salicílico (AS) a 25 ppm; T2, a 50 ppm; T3 a 75 ppm y el T4 a 100 ppm. Las aplicaciones de ácido salicílico (AS) se realizaron en etapa V3 (aparición de la primera hoja trifoliada), etapa R5 (prefloración), etapa V7 (formación de vainas). Las variables evaluadas: rendimiento por tratamiento, número de vainas por tratamiento, número de flores por tratamiento, número de granos por tratamiento, peso de 25 granos por tratamiento, diámetro de cuello de raíz, humedad parcial de la planta por tratamiento, días a floración del cultivo, días a madurez fisiológica. La aplicación del ácido salicílico mostró un efecto positivo en las variables evaluadas. El T2 (50 ppm) mostró un aumento en el rendimiento por tratamiento con un 24.69 % más con respecto al testigo con un total de 10.1 g, el peso de los 25 granos por tratamiento aumentó un 21.05 % más con respecto al testigo, con un total de 4.60 g, así mismo el diámetro de cuello de raíz aumentó un 0.76 % con respecto al testigo registrándose un promedio de 2.63 mm. El T1 (25 ppm) mostró los mejores efectos sobre la variable número de flores por tratamiento, con un promedio de 7.26 flores por planta con el cual se obtuvo un incremento de 7.26 % con respecto al testigo, al igual que en la variable de humedad parcial por tratamiento el ácido salicílico mostró resultados positivos cuando se aplicó el T1 (25 ppm), ya que aumentó el peso seco aéreo de las plantas de frijol. El número de vainas por tratamiento y número de granos por tratamiento se incrementó en el testigo. Sin embargo, el peso del grano fue superior en comparación cuando se aplicó el T2 (50 ppm). Además, a través del análisis de presupuesto parcial se determinó que el T2 (50 ppm) produjo un mayor beneficio neto lo que indica que al aplicar ácido salicílico a una concentración de 50 ppm el beneficio neto se incrementó ligeramente al proyectarlo para una hectárea de terreno.

Palabras Clave: ácido salicílico, rendimiento, prefloración, humedad parcial de la planta, *Phaseolus vulgaris*.

Rivas-Flores, A.W.

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

ABSTRACT

With the purpose of evaluating the effect of salicylic acid on the yield of common bean (*Phaseolus vulgaris*) Var. CENTA Drought, an experiment was established in the greenhouse of the Plant Protection Department of the University of El Salvador. The investigation lasted 6 months from May 2022 to October 2022. To evaluate the effect of salicylic acid (SA) on beans, five treatments with twenty repetitions each were established. The treatments applied were the following: T0 consisted of treating the crop with water, T1 consisted of applying salicylic acid (SA) at 25 ppm, T2 at 50 ppm, T3 at 75 ppm and T4 at 100 ppm. The applications of salicylic acid (AS) were carried out in the following stages: Stage V3 (Appearance of the first trifoliate leaf), stage R5 (Pre-flowering), stage V7 (Formation of pods), the variables evaluated in this investigation were: yield per treatment, number of pods per treatment, number of flowers per treatment, number of grains per treatment, weight of 25 grains per treatment, root collar diameter, partial plant moisture per treatment, days to crop flowering, days to maturity physiological. The application of salicylic acid showed a positive effect on the variables evaluated. T2 (50 ppm) showed an increase in yield per treatment with 24.69% more than the control with a total of 10.1 g, the weight of the 25 grains per treatment increased 21.05% more than the control, with a total of 4.60 g, likewise the diameter of the root neck increased by 0.76% with respect to the control, registering an average of 2.63 mm. The T1 (25 ppm) showed the best effects on the variable number of flowers per treatment, with an average of 7.26 flowers per plant, with which an increase of 7.26% was obtained with respect to the control, as well as in the partial humidity variable. By treatment, salicylic acid showed positive results when T1 (25 ppm) was applied, since it increased the aerial dry weight of the bean plants. The number of pods per treatment and number of grains per treatment increased in the control. However, grain weight was higher compared to when T2 (50 ppm) was applied. In addition, through the partial budget analysis, it was determined that T2 (50 ppm) produced a greater net benefit, which indicates that by applying salicylic acid at a concentration of 50 ppm, the net benefit increased slightly when projected for one hectare of land.

Key Words: Salicylic acid, Yield, Pre-flowering, Partial plant moisture, *Phaseolus vulgaris*.



Título en inglés:

Effect of salicylic acid on the yield of common bean (*Phaseolus vulgaris*) Var. CENTA Drought.

Correspondencia:
andres.rivas1@ues.edu.sv

Presentado:
15 de agosto de 2023

Aceptado:
09 de octubre de 2023



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional

INTRODUCCION

El frijol es una de las leguminosas más importantes debido a su amplia distribución en los cinco continentes y por su complemento nutricional ya que las semillas poseen 22 % de proteína (CIAT 1985). El cultivo de frijol en el país es uno de los rubros más importantes de la dieta de los salvadoreños, por su aporte de aminoácidos esenciales, calcio, fósforo, hierro y vitamina B-12 (IICA, 1996). El consumo per cápita por habitante en el país ronda los 17.32 kg de frijol (CENTA 2018).

En El Salvador, los pequeños agricultores se caracterizan por producir el frijol en zonas de ladera, en suelos erosionados y empobrecidos. Además, viven en condiciones de pobreza extrema y con bajos niveles de acceso a servicios básicos. La producción de grano de frijol en un 90 % se atribuye a productores individuales y 1 % por parte de cooperativas o empresa privada o pública. Aun así, la oferta del frijol en El Salvador es insuficiente debido a que se sigue importando (SC 2019). Para el ciclo 2020/2021 en el país se cultivaron 100,951 ha representando un 2.93 % más en comparación con el ciclo 2019/2020, sin embargo, el rendimiento disminuyó un 8.98 % (MAG, 2021). Debido a estos factores el precio por el grano de frijol tiende a aumentar. Por esa razón es necesario alternativas que aumenten la producción del cultivo de frijol en el país.

En la actualidad el uso de inductores de crecimiento como el ácido salicílico (AS) es una práctica que se ha utilizado para mejorar la bioproductividad de los cultivos, ya que el AS se caracteriza por tener una alta actividad fisiológica y metabólica, en las plantas, que le permite realizar funciones reguladoras en su desarrollo; provoca aumento de la actividad fotosintética, lo cual, se refleja en una mayor producción de biomasa foliar, radicular y de frutos (Sariñana 2019).

Por esa razón en la presente investigación se evaluó el efecto del ácido salicílico sobre el rendimiento del frijol común (*Phaseolus vulgaris*) Var. CENTA Sequía, Para dar alternativas de solución en respuesta al aumento de la producción y una mejor estabilidad para el productor.

MATERIALES Y METODOS

Descripción del lugar de estudio

La investigación se realizó en el invernadero del Departamento de Protección Vegetal, Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador, ubicada a una altura de 700 m. s. n. m., con una temperatura que oscila entre los 22 a 28 °C, y coordenadas geográficas 13°43'09.5" N y 89°12'01.6" (SNET 2022).

Metodología experimental

Delimitación del área experimental

El experimento se realizó con 100 unidades experimentales, las mediciones para colocar las macetas se realizaron con cinta métrica, el área total para las macetas consistió de 20 m², en donde fueron establecidos 100 depósitos plásticos con dimensiones de (0.22 m x 0.28 m x 0.19 m), cada maceta representó una unidad experimental, con un área de 0.0418 m², simulando una distancia entre surco de 0.58 m y 0.35 m entre planta, con el propósito de facilitar el crecimiento a cada planta y realizar muestreos con facilidad dentro de los surcos, evitando el salpique por el riego y evitando la dispersión por plagas.

Material utilizado para la siembra

La semilla de frijol utilizada fue la variedad «CENTA Sequía», este material fue utilizado debido a las características agronómicas. Específicamente porque es una variedad de guía corta, soporta altas temperaturas, los días a madurez fisiológica y su rendimiento potencial.

Tipo de suelo y llenado de las macetas para siembra

El sustrato que se utilizó fue un suelo franco arenoso con el propósito de brindarle un crecimiento radicular adecuado a cada planta y permitiendo buen drenaje y aireación. El suelo fue desinfectado, previamente a la siembra, con lejía comercial (hipoclorito de sodio) a una concentración del 3 %, cada maceta fue llenada con suelo hasta dejar 5 cm aproximadamente de borde superior, el suelo se homogenizó previamente a la siembra, para ello se tamizó para retirar las partículas grandes de suelo. Para facilitar el drenaje en los depósitos, por el riego proporcionado, se hicieron orificios alrededor de estos.

Prueba de germinación

Tomando en cuenta que una semilla representa el 1 %, el porcentaje de germinación de las 100 semillas fue del 95 %, luego se determinó la cantidad de semillas a sembrar por postura y tomando en cuenta que la cantidad de semillas requeridas para el establecimiento del ensayo era de 200 semillas, entonces se sustituyó en la fórmula de «semillas a sembrar» y se obtuvo un resultado de 210 semillas a sembrar entre las 100 unidades experimentales y por postura 2.10 semillas, sin embargo, se optó por sembrar tres semillas por postura para garantizar la germinación de todas las semillas y trabajar con dos plantas por unidad experimental.

Siembra

La siembra de la semilla se realizó de forma manual, se colocaron tres semillas por postura, a una profundidad de 2 cm aproximadamente, una semana después de la emergencia de las plántulas se realizó un raleo dejando dos plantas por maceta como unidad experimental.

Riego del cultivo

El riego se aplicó de forma manual, con una jeringa de 60 ml. Se utilizó un total de 681 litros de agua para el desarrollo del cultivo, aplicando 6.81 litros por maceta o unidad experimental, la cantidad de agua fue proporcionada de acuerdo a la duración de cada etapa fenológica. Debido a que el cultivo se estableció en época de lluvia, las condiciones climáticas fueron muy variables, ya que algunos días permaneció completamente nublado o con lluvias por lo que se tomó la decisión de limitar el riego cuando se observaba que el suelo en los depósitos permanecía bastante húmedo.

Fertilización

Durante el desarrollo del cultivo, se realizaron tres aplicaciones de fertilizante, dos granulados y una fertilización foliar; en la primera, se colocaron 7.20 gr, por planta, de fórmula 18-46-0, aplicándola al momento de la siembra e incorporándola al suelo de forma manual; en la segunda aplicación se colocaron 3.0 gr, por planta, de Urea 46 % N, 30 días después de la siembra, alrededor de la base del tallo. En la tercera fertilización se aplicaron 3 ml de fertilizante foliar con elementos menores por litro de agua, con dos repeticiones, al momento de la prefloración, y ocho días después de la prefloración utilizando un aspersor plástico con capacidad de un litro de agua, las aplicaciones de fertilizante se realizaron en horas de la mañana. Posterior a las fertilizaciones granuladas, se realizó el riego correspondiente a ese día con el propósito de degradar las partículas del fertilizante y que la planta lo pudiera asimilar en menor tiempo. Las cantidades de fertilizante granulado fueron pesadas en una balanza semianalítica y así asegurarse de brindarle la misma cantidad a todas las plantas. El momento de la aplicación se determinó con base al manejo del cultivo de frijol de la variedad CENTA Sequía, según el CENTA (2020).

Manejo de plagas y enfermedades

Durante el crecimiento y desarrollo del cultivo se realizaron revisiones periódicas de las plantas con el propósito de detectar alguna plaga. Para el registro de estas actividades se creó un cuadro en una página de Microsoft Word® donde se registraron los siguientes datos: tipo de plaga, edad del cultivo en la aparición de dichas plagas, técnica o producto de control. Con el objeto de prevenir problemas

de plagas las plantas fueron tratadas con el insecticida natural conocido como EM-5, en dosis de 15 a 18 ml por litro de agua.

Cosecha y secado

Las plantas fueron cosechadas de forma manual, a los 66 días después de la siembra, se colocaron en bolsas de papel y se agruparon con base a cada tratamiento, se extrajeron las vainas por cada planta y se agruparon por cada tratamiento, posteriormente las vainas fueron secadas de forma natural dejándolas tres días al sol y dos días a la sombra.

Almacenamiento de la semilla

La semilla fue almacenada en bolsas plásticas según cada tratamiento, las bolsas fueron identificadas previamente, luego se almacenaron en un refrigerador.

Metodología de laboratorio

Preparación de las soluciones de ácido salicílico (AS)

El AS se utilizó a concentraciones de 25, 50 75 y 100 ppm. Según Rivas (1996) y Hernández (2021), tales dosis no causan daño fitotóxico en plantas de frijol. Para obtener dichas concentraciones se utilizó una solución madre a una concentración de 1000 ppm, esta se obtuvo mediante la dilución, en un litro de agua, de un gramo de AS, luego se ajustaron las concentraciones de interés. Para obtener una solución a 25 ppm, se extrajeron 25 ml de la solución madre, luego esos 25 ml se diluyeron en un litro de agua, para obtener una solución a 50 ppm se extrajeron 50 ml de la solución madre , luego esos 50 ml se diluyeron en un litro de agua, para obtener una solución a 75 ppm se extrajeron 75 ml de la solución madre y esos 75 ml se diluyeron en un litro de agua y finalmente para obtener la solución a 100 ppm se extrajeron 100 ml de la solución madre y esos 100 ml se diluyeron en un litro de agua.

Aplicación del ácido salicílico (AS)

El AS fue aplicado con un aspersor manual sobre el follaje de la planta en horas de la mañana. La primera aplicación se realizó en la etapa V3, cuando el 50 % de las plantas presentaban la primera hoja trifoliada completamente desplegada, la segunda aplicación se realizó en la etapa R5, cuando en el 50 % del cultivo estaba en la prefloración, y la tercera aplicación se realizó en la etapa R7, llenado de vainas. Se realizaron tres aplicaciones para promover el efecto del AS en la producción de biomasa, flores y formación de granos.

Metodología Estadística

Se aplicó un diseño completamente al azar «DCA», ya que el ensayo se estableció en condiciones de invernadero en donde cada uno de los tratamientos tienen una variación dada únicamente por el efecto del tratamiento y el error experimental. La asignación de los tratamientos se hizo de forma aleatoria, logrando así homogeneidad entre las unidades experimentales. El diseño mencionado presenta en siguiente modelo matemático: “ $Y_{ij} = \mu + T_i + \varepsilon_{ij}$ ”

Variables que se evaluaron en el experimento: rendimiento en gramos por tratamiento, número de vainas por tratamiento, número de flores por tratamiento, número de granos por tratamiento, peso de 25 semillas por tratamiento (g), diámetro de cuello de raíz (mm), porcentaje de humedad parcial de la planta por tratamiento (diferencia de peso de la muestra húmeda y muestra seca a través del secado de la biomasa aérea de la planta en horno de aire circulante durante 24 horas), días a floración del cultivo y días a madurez fisiológica.

Para el análisis cuantitativo se aplicó el análisis de varianza (ANVA) y la prueba de comparación de medias de Dunnet, con el propósito de determinar cuál de los tratamientos mostraba efectos diferentes al testigo. El diseño estadístico se trabajó con un nivel de significancia del 5%; el análisis se realizó con el software estadístico infoStat.

Los tratamientos asignados a las unidades experimentales se realizaron de forma aleatoria, el ensayo se constituyó por cinco tratamientos, cada uno con 20 repeticiones, en total 100 unidades experimentales para el ensayo. El T0 consistió en tratar a las plantas solo con agua; el T1 en aplicar al follaje AS a una concentración de 25 ppm; el T2, a una concentración de 50 ppm; el T3, a una concentración de 75 ppm y el T4, a una concentración de 100 ppm.

Metodología Económica

Para el análisis económico se desarrolló el cálculo de presupuestos parciales, con el fin de evaluar la rentabilidad

de diferentes opciones de manejo del cultivo de frijol, con base al rendimiento de las plantas según el tratamiento aplicado.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

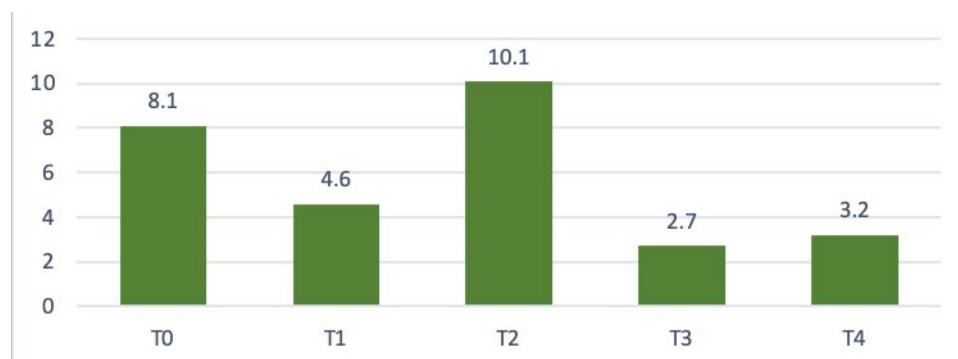
Rendimiento por tratamiento

Según los resultados obtenidos (Figura 1), se determinó que las aplicaciones del ácido salicílico en plantas de frijol generan un efecto positivo sobre el rendimiento de las plantas, debido a una mayor actividad fotosintética y un aumento en el peso de los granos, ya que al aplicarse el T2 (AS a 50 ppm) se obtuvo el rendimiento superior con 10.1 g, con una diferencia de 24.69 % respecto al testigo, estos resultados coinciden con Vásquez *et al.* (2020) quienes demostraron que aplicaciones de ácido salicílico vía solución nutritiva en chile jalapeño afectó significativamente el rendimiento con dosis de 0.2 mM, superando al control en un 35 %. Así mismo Sariñana (2019) menciona que el AS le permite a la planta realizar funciones reguladoras en su desarrollo, y provoca aumento de la actividad fotosintética, lo cual se refleja en una mayor producción de biomasa foliar, radicular y de frutos. Los tratamientos que presentaron los menores rendimientos fueron el T3 Y T4 debido a un daño mayor en las plantas causado por las plagas.

Número de flores por planta

En esta variable, los resultados indican que no existe diferencia significativa entre los tratamientos según el análisis estadístico ANVA (Tabla 1), sin embargo según la figura 2, se observó un estímulo en el proceso de floración con el tratamiento 1 (25 ppm) con una media de 7.26 flores por planta (Figura 2) superando al testigo en un 17.07 %, además el tratamiento 1 mostró un efecto positivo en los días transcurridos desde la siembra hasta la floración ya que las primeras flores abiertas se observaron en las plantas tratadas con el T1, lo cual coincide con Martín *et al.* (2010) al reportar efectos positivos en el número de

Figura 1.
Peso de grano por tratamiento



flores y la fecha del inicio de floración en petunia (*Petunia hybrida*) mediante aplicaciones de ácido salicílico (AS) a concentraciones de 1 μM , ya que no sólo el número de flores aumentó en un 72 %, con respecto al testigo, sino también indujo la floración seis días antes. Los resultados

concuerdan con Anchondo *et al.* (2011) quienes indican que, al aplicar AS a concentraciones de 1, 0.01, 0.0001 μM en el cultivo de fresa (*Fragaria ananassa*) se obtiene un aumento de 16.3, 15.9, 63.6 % flores por planta con respecto al testigo.

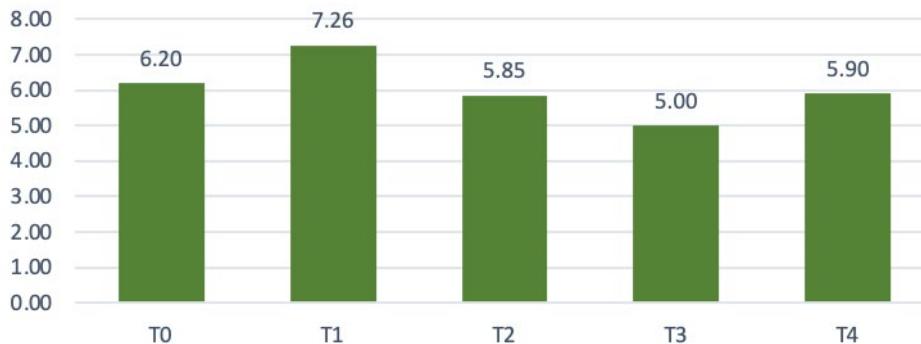
Tabla 1.

Análisis de varianza (ANVA) para la variable número de flores por tratamiento

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|-------------|-------|----|-------|-------|---------|
| Modelo | 51.97 | 4 | 12.99 | 1.12 | 0.3529 |
| Tratamiento | 51.97 | 4 | 12.99 | 1.12 | 0.3529 |
| Error | 1080. | 94 | 93 | 11.62 | |
| Total | 1132. | 91 | 97 | | |

Figura 2.

Número de flores por tratamiento



Porcentaje de humedad parcial de la planta por tratamiento (%)

Según los resultados del análisis ANVA existe diferencia significativa entre los tratamientos (según el Cuadro 2), por lo que a través de la prueba estadística de Dunnet, (según la Figura 3) se determinó que el T1 (25 ppm) y T2 (50 ppm) fueron similares, mostrando diferencias significativas con el resto de los tratamientos, y el T1 mostró una ligera diferencia con respecto al T2 con relación a la acumulación de biomasa foliar con un 55.41 %, superando al testigo con una diferencia de 7.88 %, (Figura 3). Este resultado se debe a una mayor acumulación de agua dentro de los tejidos en plantas tratadas con el T1. Según Larqué (1978), el ácido salicílico induce al cierre de estomas y

reducción de la trasppiración. Estos resultados concuerdan con Sánchez *et al.* (2011). Al reportar que el ácido salicílico actuó en forma positiva con las dosis de 0.1 y 0.2 mM aplicado a la solución nutritiva para el riego en plantas de chile jalapeño (*Capsicum annuum L.*) cv. Chichimeca sobre la producción de biomasa foliar se obtuvieron incrementos de 13 y 17 %, con respecto al testigo, así mismo Rosales (2019) menciona que al aplicar ácido salicílico a una concentración de 2.0 mM sobre el cultivo de Frijol ayocote (*Phaseolus coccineus L.*) observó un incremento en el peso de la biomasa seca área con un promedio de 18 g.pl⁻¹ el cual superó al testigo en un 16.12 %. Los tratamientos que presentaron los menores rendimientos fueron el T3 y T4 debido a un daño mayor en las plantas causado por las plagas.

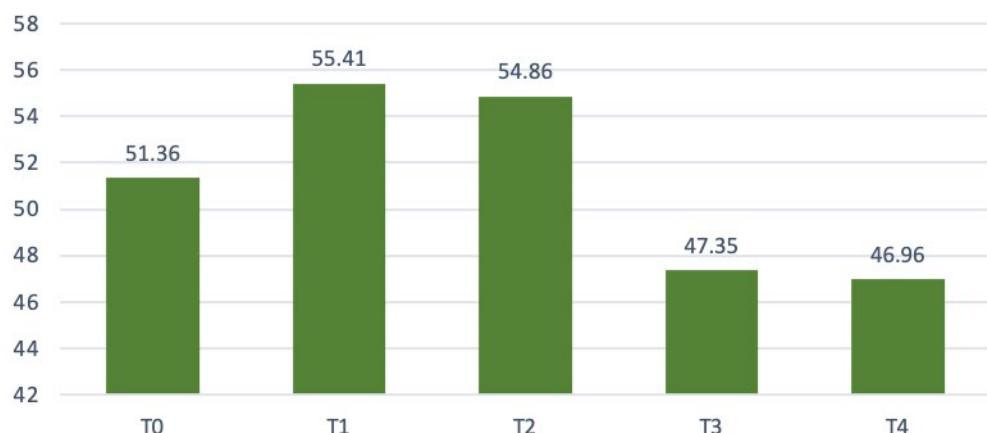
Tabla 2.

Análisis de varianza (ANVA) para la variable porcentaje de humedad parcial de la planta por tratamiento

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|-------------|---------|----|--------|------|---------|
| Modelo | 1031.88 | 4 | 257.97 | 3.51 | 0.0109 |
| Tratamiento | 1031.88 | 4 | 257.97 | 3.51 | 0.010 |
| Error | 5730.03 | 78 | 73.46 | | |
| Total | 6761.91 | 82 | | | |

*Según prueba de Dunnet al 5 %

Figura 3.
Porcentaje de humedad parcial de la planta por tratamiento.



Análisis de presupuesto parcial (proyectado para una hectárea)

Según los resultados, en cuanto al rendimiento de cada tratamiento, se aplicó la metodología de presupuesto parcial, según la Tabla 3 se determinó que el tratamiento 2 (AS a 50 ppm) produjo el mejor beneficio neto por lo que mediante dicho tratamiento el beneficio se incrementa en USD 23.93/ha con respecto al testigo donde no se aplicó ninguna concentración de ácido salicílico.

Tabla 3.
Análisis de presupuesto parcial (proyectado para una hectárea)

| Tratamientos | Costo manejo (USD) | Benéfico neto (USD) |
|----------------------------------|-----------------------|------------------------|
| T ₀ vs T ₁ | 0.3 | -USD36.3 |
| T ₀ vs T ₂ | 0.3 | +USD23.93 |
| T ₀ vs T ₃ | 0.3 | -USD67.6 |
| T ₀ vs T ₄ | 0.3 | -USD66.21 |

CONCLUSIONES

Se observó que el ácido salicílico ejerce diferentes acciones metabólicas de acuerdo con las dosis empleadas; por ejemplo, la estimulación de la floración en las plantas, estimulación para el cierre de estomas ante elevadas temperaturas y mayor translocación de nutrientes al fruto.

El ácido salicílico de manera general incrementó el número de flores por planta, permitió a la planta mayor acumulación de agua en los tejidos y aumentó el peso de los frutos.

En condiciones de invernadero, concentraciones arriba de 50 ppm y temperaturas superiores a los 35 °C, no son metabólicamente viables para el desarrollo y rendimiento del cultivo, deshidratándose la planta y produciendo un gasto excesivo de energía.

Los datos de rendimiento obtenidos en las condiciones en que se realizó el experimento no permiten hacer proyecciones para áreas más grandes en campo.

BIBLIOGRAFÍA.

- Anchondo, A; Núñez, A; Ruiz, T, Martínez, J. Vergara, S; Larqué, A. 2011. efecto del ácido salicílico en la bioproductividad de la fresa (*Fragaria ananassa*) cv Aromosa. (En línea). Revista de ScieELO. Chihuahua, México. 293-298 P. Consultado 10 de oct. 2022. Disponible en <https://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v2n2/v2n2a10.pdf>
- CENTA (Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal). 2018. Cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris*). (En línea). La libertad, El Salvador.37 P. Consultado el 18 Ene 2022. Disponible en: <https://www.centa.gob.sv/download/guia-tecnica-cultivo-de-frijol/>
- CENTA (Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal). 2020. Variedad de frijol rojo (*Phaseolus vulgaris*) CENTA Sequía. (En línea) Boletín técnico. La Libertad, El salvador. 32 P. Consultado el 20 Ene 2022. Disponible en <https://www.centa.gob.sv/2021/download/boletin-tecnico-cultivo-de-frijol-centa-sequia/>
- CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). 1985. Frijol: Investigación y producción (En línea). Cali, Colombia. 426 P. Consultado 16 Ene 2022. Disponible en: http://ciat-library.ciat.cgiar.org/articulos_ciati/2015/26201.pdf
- Hernández, N. 2021. Inducción de resistencia al estrés hídrico con ácido salicílico en frijol común

- (*Phaseolus vulgaris*), bajo riego deficitario controlado. Tesis Ing Agr. San Salvador, El Salvador. 76 P. Larque, A. 1978. The Antirtranspirant Effect of Acetylsalicylic Acid on *Phaseolus vulgaris*. (En línea). México. 126-128 p. Consultado el 12 sep. 2022. Disponible en <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1399-3054.1978.tb01579.x>
- MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería). 2021. Anuario de Estadísticas Agropecuarias 2020-2021 (En línea, Sitio Web). Consultado 09 de Sep. 2022. Disponible en <https://www.mag.gob.sv/anuarios-de-estadisticas-agropecuarias/>
- Martin, R; Vergara, S; Nexticapan, A, Larque, A. 2010. Application of low concentrations of salicylic acid increases the number of flowers in *Petunia hibrida*. (En línea). Yucatán, México. Revista de SciELO. 773-778 p. Consultado el 18 sep. 2022. Disponible en <https://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v44n7/v44n7a4.pdf>
- Rivas F. 1996. Evaluación en *Phaseolus vulgaris*, del antagonismo por bacterias e inducción de resistencia de un fosfato, hacia *Isariopsis griseola* y *Uromyces phaseoli*. (En línea). Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica. 81 P. Consultado 24 Ene. 2022. Disponible en <http://biblioteca.catie.ac.cr/cgi-bin/koha/opac-LSBDdetail.pl?biblionumber=102485>
- Rosales E. 2019. Efecto del ácido salicílico en el desarrollo del frijol ayocote (*Phaseolus coccineus* L.), en minirizotones. (En línea). Tesis. Lic. En ingeniería agroforestal. Puebla, México. Consultado el 10 sep. 2022. Disponible en <https://repositorioinstitucional.buap.mx/bitstream/handle/20.500.12371/9975/20200925155431-9182-TL.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- Sánchez, E; Barrera, R; Muñoz, E. 2011. Efecto del ácido salicílico sobre biomasa, actividad fotosintética, contenido nutricional y productividad del chile jalapeño. (En línea). Chihuahua, México. 63-68 P. Consultado el 12 sep. 2022. Disponible en <https://www.scielo.org.mx/pdf/rcsh/v17nspe1/v17nspe1a10.pdf>
- Sariñana, O. 2019. Efecto del ácido salicílico en la producción y calidad de tomate. (En línea). Tesis. Maestro en ciencias del suelo. 103 P. Consultado el 26 Ene 2022. Disponible en <http://www.ittorreon.edu.mx/pages/tesis/maestriasuelos/2019/oscar%20sarinanna%20aldaco%20%20efecto%20del%20acido%20salicilico%20en%20la%20produccioon%20y%20calidad%20de%20tomate.pdf>
- SC (Superintendencia de Competencia). 2019. Caracterización de la agroindustria del frijol rojo y sus condiciones de competencia en El Salvador (2007-2014). (En línea). La libertad, El Salvador. 86 P. Consultado 18 oct. 2022. Disponible en https://www.sc.gob.sv/wpcontent/uploads/estudios_IE/estudios_PDF/Estudio_Frijol.pdf
- SNET (Sistema Nacional de Estudios Territoriales). 2022. Clima en El Salvador. (En línea) Sitio Web. Santa tecla, El Salvador. consultado 19 ene 2022. Disponible en <https://www.snet.gob.sv/ver/meteorologia/clima+en+el+salvador/>

Artículo científico

Evaluación de cuatro dosis de un polímero retenedor de humedad en el suelo y su influencia en el desarrollo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum L.*) variedad MEX69-290, para semilla

Rivera-Menjívar, J.I.

Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias Agronómicas.

Tejada-Asencio, J.M.

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

Fabián-Romero, H.E.

Ingenio El Ángel.

Vigil-Sánchez, J.A.

Ingenio El Ángel.

RESUMEN

ABSTRACT

La investigación se realizó en el periodo de mayo a noviembre de 2019, en el lote La Sandillera de la Hacienda El Porfiado, cantón San Francisco El Porfiado, municipio de San Luis La Herradura, La Paz, El Salvador, en un área de 2,205 m². El objetivo principal fue evaluar cuatro dosis (60, 80, 100 y 120 Kg/ha) de polímero retenedor de humedad en el suelo y su influencia en el desarrollo de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum L.*), variedad MEX69-290 para semilla. Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar, con cinco tratamientos, cuatro repeticiones y 20 unidades experimentales representadas por parcelas divididas en 5 surcos con dimensiones de 15 metros de largo por 1.40 metros entre surcos. Las variables evaluadas fueron altura del tallo, cantidad de hojas, largo de entrenudos, diámetro del tallo, cantidad de entrenudos, número de cañas por metro lineal, número de esquejes por caña y peso de la caña; para el análisis estadístico se utilizó el programa Infostat. Se encontraron diferencias estadísticas en la variable altura de la planta, siendo las mejores medias por tratamiento al aplicar las dosis de 60 Kg/ha (T1) y 120 Kg/ha (T4) con 2.16 y 2.15 m de altura respectivamente en los primeros 6 meses de cultivo. Para la variable cantidad de entrenudos se obtuvieron diferencias estadísticas, la dosis de 120 kg/ha presentó los mejores resultados para la variable número de entrenudos con un total de 20 entrenudos por planta, las dosis de 60 (T1) y 80 kg/ha (T2) presentaron comportamientos similares para esta variable con 19 entrenudos por planta. Para la variable número de esquejes por planta, se encontraron los mejores resultados al aplicar las dosis de 120 (T4) y 60 Kg/ha (T1) con 3.1 y 3 esquejes por planta. Con la aplicación de polímero retenedor de humedad en la producción de caña para semilla de la variedad MEX69-290, se lograron reducir considerablemente el número de riegos en un periodo de seis meses.

The investigation was carried out in the period from May to November 2019, in the La Sandillera lot of the El Porfiado farm, San Francisco El Porfiado canton, San Luis La Herradura municipality, La Paz, El Salvador, in an area of 2,205 m², the main objective was to evaluate four doses (60, 80, 100 and 120 Kg / ha) of moisture-retaining polymer in the soil and its influence on the development of sugarcane (*Saccharum officinarum L.*), variety MEX69-290 for seed. An experimental design of Complete Random Blocks was used, with five treatments, four repetitions and 20 experimental units represented by plots divided into 5 rows with dimensions of 15 meters long by 1.40 meters between rows. The variables evaluated were: height of the stem, number of leaves, length of internodes, diameter of the stem, number of internodes, number of canes per linear meter, number of cuttings per cane and weight of the cane, likewise, the InfoStat program was used for the statistical analysis. Statistical differences were found in the variable height of the plant, being the best means per treatment when applying the doses of 60 Kg / ha (T1) and 120 Kg / ha (T4) with 2.16 and 2.15 m of height respectively in the first 6 months of cultivation. Statistical differences were obtained for the variable quantity of internodes, the dose of 120 kg / ha presented the best results for the variable number of internodes with a total of 20 internodes per plant, the doses of 60 (T1) and 80 kg / ha (T2) presented similar behaviors for this variable with 19 internodes per plant. For the variable number of cuttings per plant, the best results were found when applying the doses of 120 (T4) and 60 Kg / ha (T1) with 3.1 and 3 cuttings per plant. With the application of moisture-retaining polymer in the production of seed cane of the MEX69-290 variety, it was possible to considerably reduce the number of irrigations in a period of six months.

ACceso ABIERTO

Título en inglés:

Evaluation of four doses of a moisture retaining polymer in the soil and its influence of the development of sugar cane (*Saccharum officinarum L.*) MEX69-290 variety, for seed.

Correspondencia:
jose.tejada@ues.edu.sv

Presentado:
14 de marzo de 2023

Aceptado:
22 de agosto de 2023



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional

Palabras clave: polímero, retenedor de humedad, caña de azúcar, crecimiento vegetativo, cortes, entrenudos.

Keywords: Polymer, moisture retainer, sugarcane, vegetative growth, cuts, internodes.

INTRODUCCIÓN

La sequía es un fenómeno temporal que resulta de la escasez o mala distribución de la precipitación, las cuales se asocian generalmente con alteraciones en el comportamiento de los sistemas meteorológicos que controlan la variación del clima, en consecuencia, algunas sequías son de naturaleza localizada y tienen una duración corta, otras están extendidas por zonas muy grandes y persisten durante largos períodos INETER 2005).

El estrés hídrico, provocado por las sequías, es una disminución de agua a partir de la cual el cultivo comienza a experimentar mermas en su rendimiento final. Para la mayoría de especies cultivadas la disminución acontece antes de que los síntomas de carencia de agua (pérdida de turgencia de las hojas, marchitamiento, secado de partes viejas, entre otros) sean observables a simple vista (FAO 2006).

La agricultura es una de las actividades de producción de alimentos más importante a nivel mundial; sin embargo, es extremadamente vulnerable a los cambios drásticos del clima. En este contexto, es importante considerar el efecto que el calentamiento global y los fenómenos del niño y la niña (ENOS) tienen sobre los principales cultivos explotados en El Salvador, ya que la mayoría de ellos se desarrollan bajo condiciones dependientes del clima (Ibarra y Amaya 2007).

Lograr el uso racional del agua reteniéndola por más tiempo en el suelo es un problema, debido a que de forma natural y según su textura y estructura, tiene su propia retención variable que puede aumentarse con la incorporación de abonos verdes, materia orgánica en general o la incorporación de polímeros sintéticos que ayuden en este sentido (Zepeda 2012).

Según Ahmed (2015), los retenedores de agua son cadenas poliméricas que generalmente se encuentran en forma de geles coloidales, los cuales exhiben la capacidad de hincharse y retener una fracción significativa de agua dentro de su estructura, pero sin disolverse; estos retenedores de humedad son compuestos que absorben y retienen grandes cantidades de agua y nutrientes cuando se aplican en el suelo o en cualquier otro medio de cultivo; además fueron diseñados para reducir las frecuencias de riego. Las fuerzas intermoleculares de cohesión impiden la desintegración del compuesto. El agua es atrapada en el interior del polímero y solo es entregada a las raíces de la planta a través de un proceso físico de ósmosis, logrando capturar hasta 500 veces su peso en agua de lluvia o riego, teniendo como resultados importantes la reducción de los costos de producción hasta en un 90 % en los sistemas de riego por goteo.

El objetivo principal de la investigación consistió en evaluar

cuatro dosis de polímero retenedor de humedad en el suelo y su incidencia en el desarrollo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) para semilla.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del estudio

La investigación se realizó de mayo a noviembre de 2019, en el lote La Sandillera de la Hacienda El Porfiado, cantón San Francisco El Porfiado, municipio de San Luis La Herradura, departamento de La Paz, El Salvador, a una altura de 45 metros sobre el nivel del mar, entre los 13°21'19" Latitud Norte y 88°59'41" Longitud Oeste. La precipitación promedio de 1,764 milímetros anuales, temperatura de 26.95 °C, humedad relativa de 73 %, evapotranspiración potencial de 1,907 milímetros (SNET 2018).

Metodología de campo

Preparación del suelo

Por ser un suelo arenoso, la labor consistió en hacer un paso del surcador, preparando el área con un distanciamiento de siembra de 1.40 metros entre surcos en un sistema de siembra simple, se delimitaron los tratamientos y bloques con estacas de madera de un metro.

Preparación y aplicación del polímero

La cantidad del polímero destinado para cada tratamiento con su respectiva dosis, fue previamente pesado en balanza semianalítica en el Laboratorio de Química Agrícola, de la Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador. Se mezcló con suelo seco en una relación 1:10 (1 parte del polímero, 10 partes del suelo). Las diferentes dosis del polímero retenedor de humedad, se aplicaron, sin hidratar, en el fondo de cada surco de siembra, posteriormente se cubrió con una capa de tierra de 4 cm.

Siembra

Se sembró la caña de azúcar utilizando dos esquejes por postura a lo largo del surco; se cubrió con tierra y se aplicó riego por aspersión hasta 20 mm de lámina de agua, medidos con un pluviómetro.

Riego

Se utilizó el método de riego por aspersión, haciendo la 1^a aplicación después de la siembra y se repitieron cada 21 días después de no haber caído lluvias, aplicando 4 riegos en total con una lámina promedio de 20 mm de agua cada riego y se aplicaron en las semanas (S-9, S-12, S-21 y S-24).

Fertilización

Se aplicaron tres fertilizaciones con fórmulas químicas:

- 1) Fertilización 30 días después de la siembra con fórmula 18-46-0 aplicado al subsuelo con fertilizadora, con una dosis de 1 qq (45.45 Kg) en toda el área.
- 2) Fertilización 30 días después de la primera fertilización con una mezcla de sulfato de amonio más urea con una relación de 2:1, es decir, 2 qq (90 Kg) de sulfato de amonio más 1 qq (45.45Kg) de urea; se realizó la mezcla previamente de la cual se tomó 1qq (45.45Kg) y se fertilizaron todos los tratamientos a una dosis de 30 g de fertilizante por metro lineal.
- 3) Fertilización 60 días después de la segunda fertilización con sulfato de amonio, aplicando 30 g de fertilizante por metro lineal.

Monitoreo de plagas y enfermedades

El monitoreo se realizó una vez por semana, con la finalidad de prevenir el ingreso y ataque de plagas y enfermedades; no se observó ningún daño serio por plagas o enfermedades que necesitara un método de control.

Control de malezas

Se realizó de dos formas:

1. De forma química utilizando herbicida preemergente, aplicado después de la siembra. Una segunda aplicación 50 días después de la siembra con una mezcla de tres herbicidas inhibidores de crecimiento en algunas plantas arvenses.
2. De forma manual, después de los 100 a 110 días de la siembra, la cual se realizó con azadón y machete, eliminando malezas presentes y utilizando mano de obra para esa actividad.

Aporque del cultivo de caña de azúcar

Esta labor se realizó a los 80 días después de siembra, consistió en un paso de aporador, con el objetivo de acumular suelo o tierra en la base de las cepas para mejorar el anclaje de la planta, desterronar el suelo, mejorar las condiciones de drenaje superficial y controlar las malezas del entresurco.

Cosecha

La cosecha se realizó con base a los criterios: madurez fisiológica, edad de cultivo apto para cosechar semilla, corte de tallos y corte de esquejes con una medida aproximada de 45-50 cm. Se desarrolla el empacado en

manojos de 50 esquejes cada uno.

Metodología de laboratorio

La capacidad de campo y el punto de marchitez permanente se calcularon por procedimientos analíticos, para esto se utilizaron las ollas de presión en el Laboratorio de Suelos del Departamento de Recursos Naturales y Medio Ambiente de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador.

Metodología estadística

Diseño de la investigación

Se utilizó un diseño de bloques completos al azar, con cinco tratamientos (dosis de polímero) y cuatro repeticiones, haciendo un total de 20 unidades experimentales. La unidad experimental fue considerada como una parcela con 5 surcos de 15 m de largo y 7 m de ancho, el cual tuvo un área de 105 m².

Tratamientos evaluados

Las cantidades de polímero retenedor de humedad fueron determinadas en relación a la recomendación del producto y evaluar dos dosis arriba y dos dosis abajo del valor recomendado por la empresa AQUAGEL.

$T_0 = 0$ kg/ha de polímero retenedor de humedad.

$T_1 = 60$ kg/ha de polímero retenedor de humedad

$T_2 = 80$ kg/ha de polímero retenedor de humedad

$T_3 = 100$ kg/ha de polímero retenedor de humedad

$T_4 = 120$ kg/ha de polímero retenedor de humedad

Variables evaluadas

Las variables evaluadas fueron altura de tallo, cantidad de hojas, largo de entrenudos, diámetro de tallo, cantidad de entrenudos, cantidad de plantas productivas por metro lineal, cantidad de esquejes por caña y peso de caña.

Análisis de datos

Para el análisis de las variables, se utilizó el programa InfoStat, realizando análisis de estadística descriptiva con medias y análisis de estadística inferencial, análisis multivariante, prueba de normalidad de Shapiro-Wilks, análisis de la varianza paramétrica (ANVA) de Fisher y la prueba de hipótesis de Tukey. Además, se utilizó análisis de varianza no paramétrica de Kruskal y Wallis y prueba de comparación de apares (Balzarini *et al.* 2011).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de humedad en el suelo

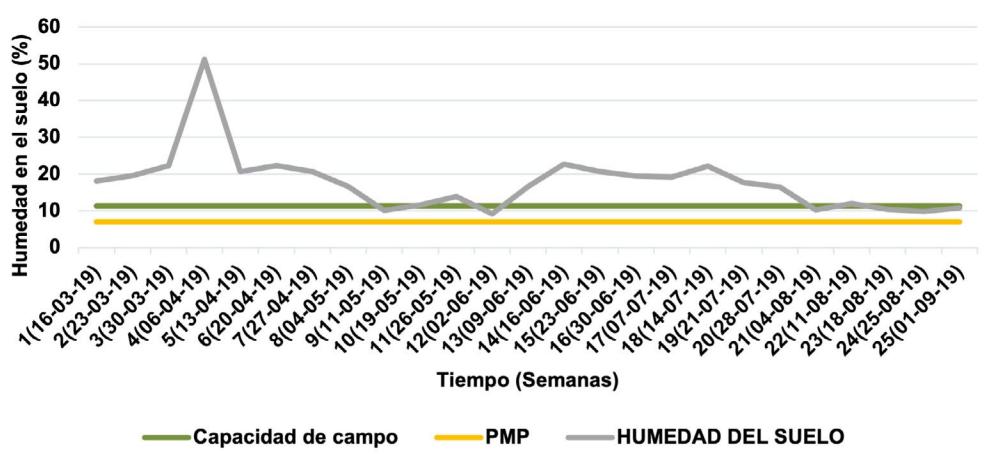
Al analizar el comportamiento de la humedad del suelo (Figura 1), se logró determinar los períodos donde el cultivo se abasteció con las precipitaciones; además al encontrar que la humedad del suelo era menor que la capacidad de campo, se optó por aplicar riego por aspersión para que el suelo no llegara al punto de marchitez permanente y evitar que el cultivo entrara a estrés por falta de agua. Durante la investigación se aplicaron cuatro riegos por aspersión con una lámina de 20 mm (20 litros por cada metro cuadrado de tierra), en las semanas 9, 12, 21 y 24, después de establecido el cultivo.

Se identificó un periodo de sequía de seis semanas o 42 días (desde la semana 6 hasta la 12), en las cuales se hicieron dos aplicaciones de riego cada tres semanas (21 días), aplicando la primera en la semana 9 donde la curva de humedad del suelo baja sobre el nivel de capacidad campo, periodo en el cual ya no hay agua

disponible para el desarrollo de la planta. En la curva se identifica que la captura de agua del polímero retenedor de humedad permite ampliar el periodo de riego hasta tres semanas, aplicando así riego por aspersión hasta la semana 12 nuevamente, modificando completamente la calendarización de riego establecido por el Ingenio El Ángel, el cual programa riego para cada semana. Mismo caso sucede en los dos últimos riegos aplicados en la semana 21 y 24, con los cuales se redujo el número de riegos aplicados, asimismo, se redujeron los costos de producción en las actividades de riego, pasando de 25 riegos según la programación del Ingenio El Ángel a 4 riegos con el uso del polímero en un periodo de 6 meses. Solís *et al.* (2019), registraron los días sin riego en plantas de café en vivero con un promedio de 126.25 días a marchitez permanente al aplicar 10 gramos por planta de poliacrilato de potasio como retenedor de humedad, demostrando de esta manera la utilidad e importancia de usar retenedores de humedad que reduzcan los riesgos de perder plantas por estrés hídrico.

Figura 1.

Porcentaje de humedad del suelo por semana en ensayo de investigación.



Altura de la planta (m)

Al aplicar la prueba de comparación de medias de Tukey, se identificó que las dosis de 60 kg/ha y 120 Kg/ha mostraron diferencias estadísticamente significativas con respecto a las demás dosis (Figura 2), representando ambas dosis como los mejores promedios de altura de la planta, en contraposición, las dosis de 0 kg/ha y 100 kg/ha fueron las que mostraron las menores alturas, siendo estadísticamente diferentes (<0.05).

Al utilizar diferentes dosis de polímero retenedor de humedad, se demostró que las mejores alturas de las plantas se produjeron al aplicar el T1 y T4 con dosis de 60 y 120 Kg/ha con 2.16 m y 2.15 m de altura, respectivamente, sin embargo, la altura de los tratamientos T0 y T3 con dosis

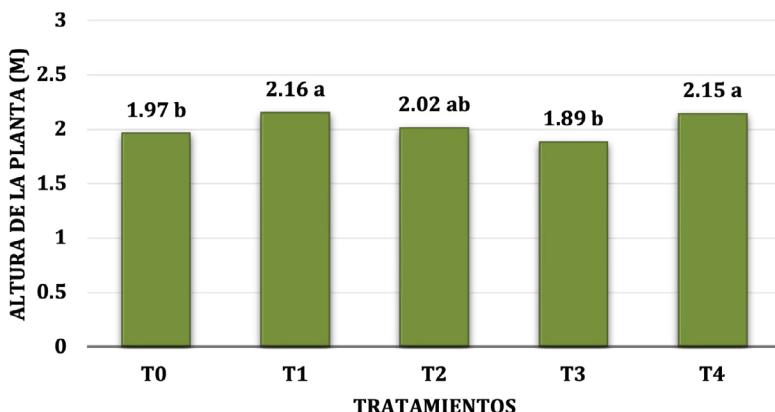
de 0 y 100 kg/ha presentaron la menor respuesta con 1.97 y 1.89 m de altura, respectivamente. Para Solís *et al.* (2019) al aplicar las diferentes dosis de Poliacrilato de Potasio se obtuvieron los mejores resultados en la variable ganancia de altura, siendo las mejores dosis de 7 y 10 gramos por planta de café comparados con las alturas de las plantas a las que no se les aplicó retenedor de humedad.

Cantidad de hojas

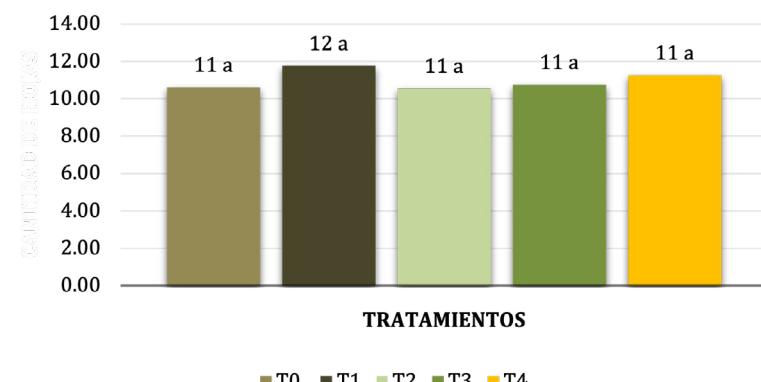
Para esta variable no se encontraron diferencias estadísticas ($p<0.05$), sin embargo, los resultados demuestran que prevalece un comportamiento aceptable de la caña de azúcar en presencia de las diferentes dosis de polímero retenedor de humedad aplicados (Figura 3).

Figura 2.

Altura de la planta en la variedad MEX69-290, para semilla aplicando cuatro dosis de polímero retenedor de humedad.

**Figura 3.**

Cantidad de hojas de la caña de azúcar para semilla variedad MEX69-290.



La formación de las hojas del cultivo de caña de azúcar depende de la temperatura y edad de la planta, la expansión de las hojas también se efectúa a niveles más altos cuando las temperaturas son altas, pero estas no se mantienen en la planta debido al agotamiento de las reservas de hidratos de carbono. Según (Amaya *et al.* 1995), la longevidad de las hojas (desde el nacimiento hasta la senescencia de una sola hoja), son mucho más cortas a temperaturas altas, y a condiciones de estrés hídrico. De igual manera en plantas jóvenes la longevidad es corta, generalmente menor a un mes y en plantas más viejas puede durar hasta cinco meses, lo que lleva a mantener poco follaje, lo que no es suficiente para la completa captación y translocación de la sacarosa, aspecto que puede estar relacionado con los resultados de la presente investigación.

Largo de entrenudos (m)

Según el análisis de varianza, el factor dosis de polímero retenedor de humedad, no presentó diferencia estadística significativa ($p<0.0884$). Sin embargo, en la prueba de

comparación de medias Tukey, hay una relación del efecto del polímero retenedor de humedad producido en el crecimiento del entrenudo (Figura 4), siendo la dosis de 60 kg/ha, la que mostró un mejor comportamiento con 0.12 m de longitud, no existiendo diferencia estadística alguna entre ellas, en contraposición la dosis de 100Kg/ha mostro un menor efecto en el largo de entrenudos con un valor de longitud de 0.10 m, siendo estadísticamente iguales ($p<0.05$).

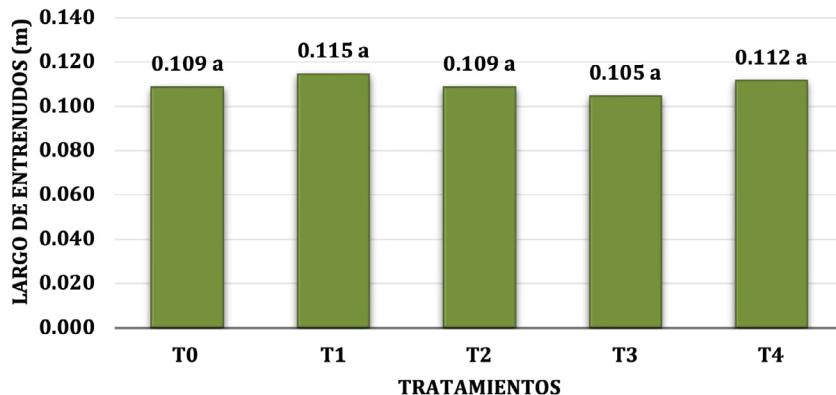
Aun cuando no existen diferencias estadísticas significativas, los resultados demuestran que prevalece un comportamiento favorable del T1 con la dosis de 60 kg/ha, en presencia del largo del entrenudo con 0.115 m, mostrando similar comportamiento al comparar con los demás tratamientos para esta variable.

Diámetro del tallo (mm)

Para la variable diámetro del tallo se verificó el supuesto de normalidad con el objetivo de determinar la variabilidad por un análisis de varianza, cumpliendo con los supuestos

Figura 4.

Largo de entrenudos de la caña de azúcar para semilla.



de normalidad, el análisis mostró que el factor dosis de polímero retenedor de humedad, no presentó diferencias estadísticas significativas ($p<0.1154$). Sin embargo, en la prueba de comparación de medias Tukey, así lo demostró (Figura 5), donde se identificó que la dosis de 60 kg/ha (T1), es la que presentó un mejor comportamiento con un valor de 26.17 mm de diámetro del tallo, no existiendo diferencia significativa alguna entre ellas, con dosis de 100 Kg/ha (T3), la que mostró un menor efecto en el diámetro del tallo con un valor de 25.19 mm, siendo estadísticamente iguales al comparar con los demás tratamientos, lo que confirma que al no aplicar polímero retenedor de humedad, se obtendrán resultados similares que al aplicar cualquiera de las otras dosis para esta variable.

Cantidad de entrenudos

El análisis de varianza mostró que el factor dosis de polímero retenedor de humedad presentó diferencias altamente significativas ($p<0.0006$). La prueba de comparación de medias de Tukey, así lo demostró, donde se identificó que la dosis de 120 kg/ha (T4) presentó los mejores resultados con 20 entrenudos por planta, mientras que las dosis de 60 Kg/ha (T1) y 80 Kg/ ha (T2) mostraron resultados similares entre ellas con 19 entrenudos por planta respectivamente (Figura 6), siendo las dosis de 0 (T0) y 100 Kg/ha (T3) los que mostraron los resultados más bajos con 18 entrenudos por planta cada uno.

Se demostró que las dosis de 60 kg/ha y 80 kg/ha producen resultados similares con 19 entrenudos por planta en cada tratamiento, superados únicamente por la dosis de 120 kg/ha, representándose como el mejor tratamiento para esta variable, las dosis de 0 kg/ha y 100 Kg/ha, obtuvieron un promedio de 18 entrenudos por planta, mostrando los resultados más bajos para esta variable.

Figura 5.

Diámetro de los tallos de la caña de azúcar para semilla

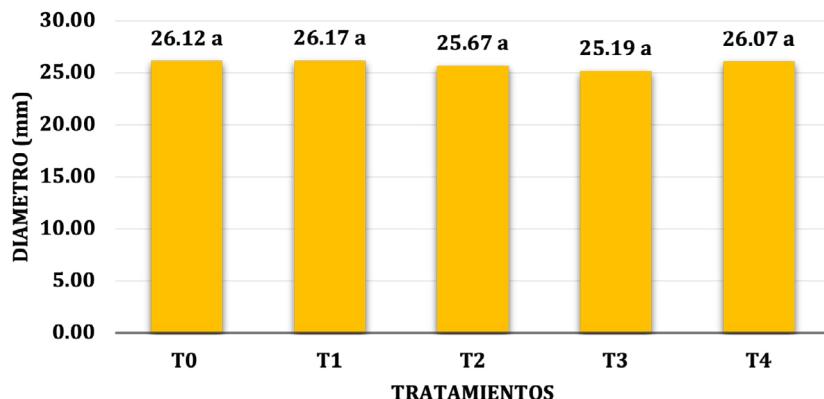
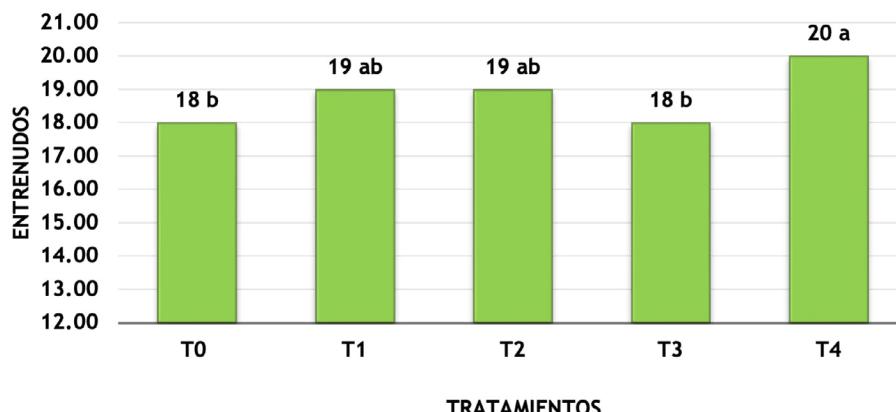


Figura 6.
Cantidad de entrenudos de la caña de azúcar para semilla.



Cantidad de plantas productivas por metro lineal

Para esta variable se verificó el supuesto de normalidad con el objetivo de determinar la variabilidad por un análisis de varianza, cumpliendo con los supuestos de normalidad. El análisis mostró que el factor dosis de polímero retenedor de humedad no presentó diferencias estadísticas significativas ($p<0.5592$).

Sin embargo, en la prueba de comparación de medias Tukey, así lo demostró, donde se identificó que la dosis de 0 kg/ha, es la que presentó el mayor promedio en la cantidad de plantas productivas con un valor de 16 plantas, no existiendo diferencia significativa alguna al comparar con las demás dosis (Figura 7). Esta variable está muy asociada con las características de la variedad en la capacidad de formar ejes productivos en forma de parras o macollas, sumándose a esta las diferentes actividades de manejo agronómico del cultivo.

Cantidad de esquejes de la planta

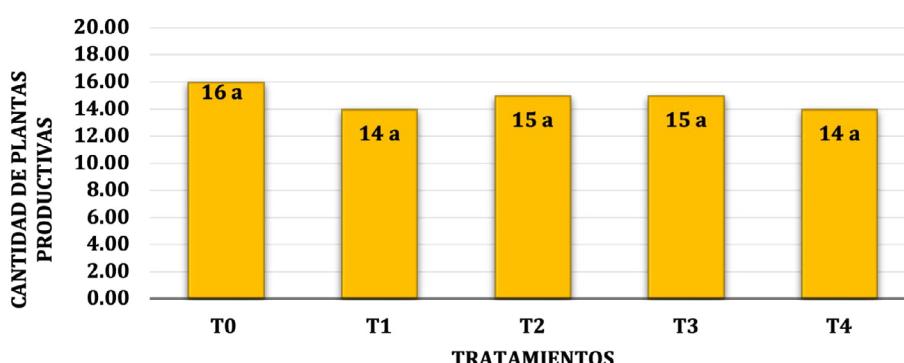
El corte de caña de azúcar para semilla, se realizó a partir

de los seis meses, fase en la cual el ingenio El Ángel inició el corte de caña semilla para su distribución, haciendo los cortes con una medida de 40 a 50 cm de largo, siendo la medida estándar que el ingenio maneja, debido a que el esqueje posee de 4 a 6 yemas viables.

Para el análisis estadístico de las fuentes de variación (dosis de polímero retenedor de humedad), en los números de cortes de la planta en la etapa final de desarrollo, se verificó el supuesto de normalidad con el objetivo de determinar la variabilidad por un análisis de varianza (ANVA) paramétrico. La cantidad de cortes de la planta en la etapa final de desarrollo, no cumplieron con el supuesto de normalidad 0.92, $P<0.0001$. De manera que se procedió a trasformar los datos con el objetivo de ajustarlos.

Al aplicar el análisis de varianza no paramétrico de Kruskal y Wallis, para cada fuente de variación. Las dosis de polímero retenedor de humedad, produjeron diferencias significativas en las distintas medias de la cantidad de esquejes de la planta, así lo demostró la prueba de comparación para número de cortes por planta en la última etapa de desarrollo según tratamientos, siendo las dosis de

Figura 7.
Cantidad de plantas productivas presentes en un metro lineal.



60 kg/ha (T1) y 120 kg/ha (T4) las que produjeron con 3.0 y 3.1 esquejes por planta, respectivamente, mientras que las dosis de 0 kg/ha (T0) y 80 kg/ha (T2) mostraron similar comportamiento entre ellas con 2.85 y 2.95 esquejes por planta, respectivamente, asimismo, la dosis de 100 kg/ha (T3) que presentó la menor cantidad de esquejes/planta con un total de 2.6 esquejes (Figura 8).

Peso de la caña de azúcar

El análisis de varianza mostró que el factor dosis de polímero retenedor de humedad, no presentó diferencias estadísticas significativas ($p<0.0514$). Sin embargo, en la prueba de comparación de medias Tukey, hay una relación del efecto del polímero retenedor de humedad producido en el peso de la caña de azúcar (Figura 9), siendo la dosis de 120 kg/ha (T4), la que mostró un mejor comportamiento con un promedio de 0.83 kg por caña, en contraposición la dosis de 100Kg/ha (T3) mostró un menor efecto en relación al peso promedio de 0.68 kg por caña, no existiendo diferencias estadísticas entre las dosis utilizadas para esta variable.

Figura 8.

Cantidad de esquejes de las plantas productivas.

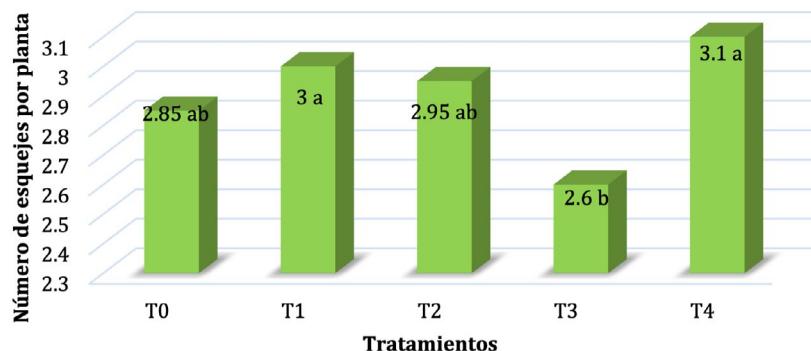
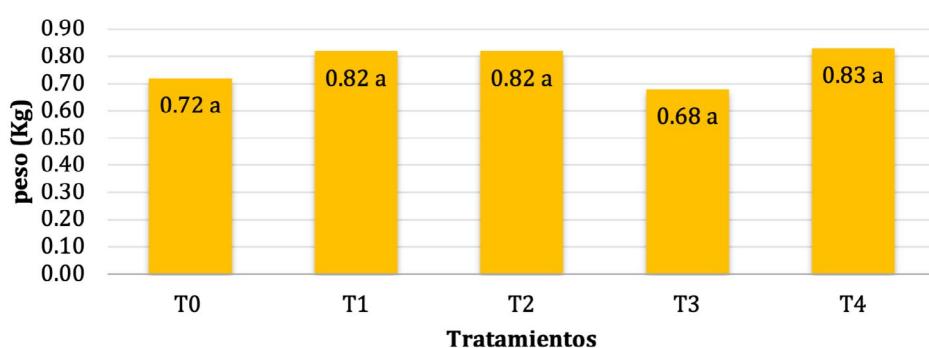


Figura 9.

Peso de la caña de azúcar para semilla.



CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos y a las condiciones bajo las cuales se desarrolló la presente investigación, se concluye que:

Estadísticamente las dosis de polímero retenedor de humedad, mostraron diferencias altamente significativas en la variable altura de la planta, con un nivel de significancia de 0.05 %, los mejores resultados se

obtuvieron al aplicar las dosis de 60 (T1) y 120 Kg/ha (T4).

Las diferentes dosis de polímero retenedor de humedad evaluadas en la variable de cantidad de entrenudos mostraron diferencias altamente significativas ($p>0.05$), siendo la dosis de 120 kg/ha (T4) que presentó los mejores resultados, seguido de las dosis de 60 Kg/ha (T1) y 80 Kg/ha (T2).

Las variables peso de la caña y cantidad de plantas

productivas por metro lineal, no mostraron diferencias estadísticamente significativas, es decir, que las dosis de polímero retenedor de humedad producen un comportamiento similar en estas variables.

Estadísticamente las dosis de polímero retenedor de humedad, mostraron diferencias altamente significativas en la variable cantidad de esquejes por caña, siendo las dosis de 60 kg/ha (T1) y 120 kg/ha (T4) las que produjeron el mayor número de esquejes por planta.

Al aplicar el polímero retenedor de humedad en la producción de caña para semilla de la variedad MEX69-290, se reducen considerablemente los períodos de riego, asimismo, el costo por cada aplicación de riego es mucho mayor que el costo de la adquisición y aplicación del polímero usando la dosis de 60 Kg/ha, respondiendo de una mejor manera para las variables altura de planta, cantidad de esquejes por planta y cantidad de entrenudos; además es la dosis que más se ajusta a las condiciones económicas del productor de semilla de caña de azúcar, mientras que al comparar con la dosis de 60 kg/ha con la dosis de 120 Kg/ha se estarían duplicando los costos en la adquisición del polímero y se comprobó que el comportamiento para las variables anteriormente mencionadas fueron similares en ambas dosis.

BIBLIOGRAFÍA

- Ahmed, E. M. (2015). Hidrogel: Preparación, caracterización y aplicaciones: Una revisión. Revista de Investigación Avanzada, p105-121.
- Amaya Estévez, A; Cok, JH; Hernández, AP; Irvine, JE. 1995. Biología. En: CENICAÑA (Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia). El cultivo de caña en la zona azucarera (en línea). Cali, Colombia. 62p. Consultado 02 de abr. 2019. Disponible en http://www.cenicana.org/pdf/documentos_no_seriados/libro_el_cultivo_cana/libro_p31-62.pdf
- Balzarini, M; Di Rienzo, J; Tablada, M; Gonzales, L; Bruno, C; Córdoba, M; Robledo, F; Casanoves, F. 2011. Estadística y Biometría, ilustraciones del uso de infoestat en problemas de agronomía (en línea). Argentina. 404p. Consultado 05 abr. 2019. Disponible en <http://www.agro.unc.edu.ar/~mcia/archivos/Estadistica%20y%20Biometria.pdf>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, América Latina y El Caribe). 2006. Importancia de la agricultura para la economía (en línea). Consultado: 15 mar. 2018. Disponible en <http://www.fao.org/docrep/v9648s/v9648s.htm>
- Ibarra Turcios, AM; Amaya, LB. 2007. Cambio climático génesis, impactos y propuestas para enfrentarlos (en línea). San Salvador, El Salvador. 132 p. Consultado 15 abr. 2018. Disponible en <https://>
- www.unes.org.sv/wp-content/uploads/2017/02/Genesis-impactos-y-medidas-Cambio-Climatico.pdf
- INETER (Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales). 2005. Proyecto MET-ALARN. Sequía Meteorológica. Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación. Managua, Nicaragua. 51 p.
- SNET (Sistema Nacional de Estudios Territoriales, El Salvador). 2018. Perspectiva del clima para el período de agosto a noviembre 2016. El Salvador. MARN (en línea). Consultado 2 nov. 2018. Disponible en www.snet.gob.sv/ver/meteorologia/pronostico/perspectivas+clima/
- Solís López, FG; Huezo Lemus, YC; Méndez Pérez, JC. 2019. Evaluación de cuatro dosis de poliacrilato de potasio en el desarrollo del cultivo de café (*Coffea arabica L.*) y en la conservación de humedad disponible para la planta en el suelo. Tesis Ing. Agr. San Salvador. Universidad de El Salvador. SV.
- Zepeda Cabrera, CA. 2012. Efecto de cinco dosis de un polímero retenedor de humedad y cuatro frecuencias de riego en almacigo de rambután (*Nephelium lappaceum L.*) en Coatepeque, Quetzaltenango (en línea). Tesis Lic. En Ciencias Agrícolas, Coatepeque, Universidad Rafael Landívar. Consultado 01 May. 2018. Disponible en <http://biblio3.url.edu.gt/Tesario/2012/06/17/Zapeta-Carlos.pdf>



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