

2021
38: 1



REVISTA
de la FACULTAD
de AGRONOMIA

Esta publicación científica en formato digital es continuación de la Revista Impresa:
Depósito legal pp 196802ZU42 ISSN 0378-7818



UNIVERSIDAD
DEL ZULIA
Maracaibo
Venezuela

Enero-Marzo



Revista de la Facultad de Agronomía Universidad del Zulia (Venezuela). Desde 1968 <https://www.produccioncientificaulz.org/index.php/agronomia>

**Autoridades de la
Facultad de
Agronomía
Universidad del
Zulia**

*Dra. Ana Colina de Rubio
Decana (I)*

*Dra. Julia Martínez
Dir. de la Escuela de
Ingeniería Agronómica*

*Dr. Jorge Vilchez Perozo
Dir. del Instituto de
Investigaciones Agronómicas*

*MSc. Emma Segovia
Dir. de la División de
Estudios para Graduados*

*MSc. Yulana Maldonado
Dir. de la División de
Extensión Agrícola*



**Consejo
de Desarrollo
Científico,
Humanístico y
Tecnológico de la
Universidad del Zulia
(CONDES)**

*Dr. Gilberto Vizcaíno
Coordinador-
Secretario*

Editor Jefe
Dr. Jorge Vilchez-Perozo.
2018-2023.
Maracaibo, estado Zulia,
Venezuela.
jvिल्chezp@fa.luz.edu.ve
jv.revfacagron@gmail.com
Universidad del Zulia.
Maracaibo, Venezuela.

Mejoramiento animal
Luis Fabian Yañez
Zuleima Chirinos
Gonzalo Martínez

Nutrición animal
Antonio Landeta
Omar Araujo Febres
José M. Luginbuhl

José Palma G.
Ana María Arzalluz
Reproducción animal
Armando Quintero
Rafaela Muñoz
German Portillo
Ninoska Madrid

Ovinos y caprinos
Luis Dickson

Plátanos y bananans
Vianel Rodríguez

Biometría
Angel Gómez
Jorge Ortega
Belkis Bracho
Ciolys Colmenares

Fito protección
Mauro Albarracín

Nelly Delgado
José V. Lasso

Tecnología de alimentos
Silvia Araujo
Zulay Mármoel
Natalia González

Forrাজicultura
Eduardo Chinea
Danny García

Frutales
Angel Villegas Monter
Dámaso Bautista

Freddy Leal

Thomas Osuna
Alimentación
Reinaldo Pire

Orlando Rodríguez
Eduardo Sergent

Leguminosas
Cecilia Peña Valdivia
Atilio Higuerá

Universidad del Zulia, Venezuela
Universidad del Zulia, Venezuela
Universidad Central de Venezuela,
Venezuela

Venezuela del Zulia, Venezuela
Universidad del Zulia, Venezuela
North Carolina State University,
Estados Unidos

Universidad de Colima, México
Universidad del Zulia, Venezuela
Universidad del Zulia, Venezuela
Universidad del Zulia, Venezuela

Instituto Nacional de Investigaciones
Agrícolas - Lara, Venezuela

Universidad Centrocidental Lisandro
Alvarado, Venezuela, Venezuela

Universidad del Zulia, Venezuela
Universidad del Zulia, Venezuela
Universidad del Zulia, Venezuela
Universidad del Zulia, Venezuela

Universidad Central de Venezuela,
Venezuela
Instituto Nacional de Investigaciones
Agrícolas - Portuguesa, Venezuela

Universidad Central de Venezuela,
Venezuela

Universidad del Zulia, Venezuela
Universidad del Zulia, Venezuela
Centro de Investigación en
Alimentación y Desarrollo AC - México

Universidad de la Laguna, España
Instituto Nacional de Investigaciones
Agrícolas -Trujillo, Venezuela

Colegio de Postgraduados, México
Universidad Centrocidental Lisandro
Alvarado, Venezuela

Universidad Central de Venezuela,
Venezuela

Centro de Investigación en
y Desarrollo AC - México
Universidad Centrocidental Lisandro
Alvarado, Venezuela

Universidad Centrocidental Lisandro
Alvarado, Venezuela

Universidad Central de Venezuela,
Venezuela
Colegio de Postgraduados, México
Universidad del Zulia, Venezuela

Editor Adjunto

MSc. Juan Vergara Lopez
2018-2023 jvergara@fa.luz.edu.ve, editor.asociado.rfa.luz@gmail.com
Universidad del Zulia, Maracaibo, Venezuela.

Editores Asociados

MSc. Evelyn Pérez-Pérez.
2019-2024 edcpp.revfacgroluz@gmail.com
Universidad del Zulia, Maracaibo, Venezuela.

MSc. Beltrán Brieño
2019-2024 beltranbriceno@fa.luz.edu.ve, bbr.revfacgroluz@gmail.com
Universidad del Zulia, Maracaibo, Venezuela.

Dra. Rosa Razz-García.
2017-2020. rrazz@fa.luz.edu.ve, rosarazz@hotmail.com
Universidad del Zulia, Maracaibo, Venezuela.

Dra. Gretty Etienne-Rojas.
2017-2020. grettienne@fa.luz.edu.ve, grettienne26@gmail.com
Universidad del Zulia, Maracaibo, Venezuela.

MSc. Andreina García
2019-2024 andreinagarcia@fa.luz.edu.ve, andreinagarcia@gmail.com
Universidad del Zulia, Maracaibo, Venezuela.

Dra. Fátima Urdaneta Ortega.
2019-2024. fatimaurdanet@fa.luz.edu.ve, fatimaurdanet@gmail.com
Universidad del Zulia, Maracaibo, Venezuela.

Producción vegetal

Producción vegetal

Producción animal

Tecnología de alimentos

Tecnología de alimentos

Socioeconomía

Comité Asesor, año 2021

Botánica

Adriana Sanchez Universidad del Zulia, Venezuela
Elizabeth Cardenas Colegio de Postgraduados, México
Darisol Pacheco Universidad del Zulia, Venezuela
Maria Elena Sanabria Universidad Centrocidental Lisandro Alvarado, Venezuela

Biología vegetal

Zenaida Vilorio Universidad de Kentucky
Silvia León de Sieratta Universidad del Zulia, Venezuela
Ariadne Vargas Universidad Central de Venezuela, Venezuela

Mejoramiento de plantas

Alberto Pérez Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas - Portuguesa, Venezuela
Edicta Reyes Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas - Portuguesa, Venezuela

Fitopatología

Ana M. Cassasa-Padrón Universidad del Zulia, Venezuela
Renato Crozzoli Universidad Central de Venezuela, Venezuela
Alba Nava Pereira Universidad del Zulia, Venezuela
Francisco Ochoa Universidad de Florida, Estados Unidos
Dorian Rodríguez Universidad Centrocidental Lisandro Alvarado, Venezuela

Gustavo Trujillo

Universidad Central de Venezuela, Venezuela

Fisiología vegetal

Carlos Trejo Colegio de Postgraduados, México
Douglas Marín Universidad Central de Venezuela, Venezuela

José Mejías

Universidad de los Andes, Venezuela
Ramon Jaime Universidad Centrocidental Lisandro Alvarado, Venezuela
Mercedes de Serpa

Fisiología post cosecha

Reginaldo Báez Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo AC - México
Universidad Centrocidental Lisandro Alvarado, Venezuela

Juan Manzano

Judith Zambrano Universidad de los Andes, Venezuela
Socioeconomía y sistemas de producción

Maria Elena Peña

Universidad del Zulia, Venezuela
Eduardo Delgado Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas - Barinas, Venezuela

Isneira Huerta

Universidad Nacional Experimental Rafael María Baralt, Venezuela
Universidad del Zulia, Venezuela
Miguel Crespo Universidad Autónoma de la Laguna, México

Suelos

Pedro Betancourt Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas - Lara, Venezuela
Nestor Noguera Universidad del Zulia, Venezuela
Stalin Torres Universidad Central de Venezuela, Venezuela

Ambiente

Ana Isabel Valenzuela Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo AC - México

2021. Volumen 38: cuatro números por año. Frecuencia: Trimestral. ISSN: 2477-9407. Esta publicación científica en formato digital es continuación de la Revista Impresa: Depósito legal pp 196802ZU42, ISSN: 0378-7818. Todos los derechos reservados.

La Revista de la Facultad de Agronomía (Rev. Fac. Agron. LUZ), es una revista científica con reconocimiento nacional e internacional. El prestigio de su comité editorial y sus autores garantizan una amplia audiencia. Es respaldada por la Universidad del Zulia con la finalidad de difundir los resultados de investigadores venezolanos y de otras partes del mundo, relacionados con el ámbito agropecuario. Esta revista proporciona acceso abierto a su contenido, ofreciendo al público los resultados de las investigaciones, lo cual permite un mayor intercambio global del conocimiento.

Objetivo: publicar periódicamente artículos originales e inéditos, notas técnicas, revisiones por invitación, comunicaciones rápidas, resúmenes en extensos de congresos y reuniones científicas relacionadas con el área agropecuaria a consideración del Comité Editorial, producto de investigaciones agropecuarias de alta calidad científica y promover el intercambio de publicaciones y la actividad científica a nivel agropecuario.

Descripción: la Revista de la Facultad de Agronomía, Universidad del Zulia es una publicación del Instituto de Investigaciones Agronómicas de la Facultad de Agronomía (LUZ). Los tópicos que se incluyen son: gerencia de agrosistemas, ambiente, biotecnología agrícola, ciencia de la carne, ciencia de la leche, desarrollo rural, economía agrícola, entomología, fertilizantes, fisiología postcosecha, fisiología vegetal, fisiología y reproducción animal, pastos y forrajes, genética y mejoramiento animal y vegetal, arvenses, nutrición animal, patología vegetal, seguridad agroalimentaria, sistemas agroalimentarios y suelos.

Envío de manuscritos: información pertinente acerca de cómo elaborar los manuscritos se ofrece en cada número de la revista. Toda correspondencia debe ser enviada al Editor Jefe, Revista de la Facultad de Agronomía, Universidad del Zulia. Correos electrónicos: agrovestaluz@gmail.com; revagronomia@fa.luz.edu.ve. Dirección: Avenida Guajira, Ciudad Universitaria, Núcleo Agropecuario, Facultad de Agronomía. Apartado 15205. Maracaibo, ZU 4001, Venezuela.

Revista de la Facultad de Agronomía

Rev. Fac. Agron. (LUZ)

Volumen 38 Número 1. Enero-Marzo, 2021.

La Revista está indizada y/o catalogada en:
The journal is cataloged and/or indexed in:

Science Citation Index (SCIEExpanded)

Scopus

Scimago Journal & Country Rank

Journal Citation Reports/Science Edition

Agris (FAO)

CAB International (Reino Unido)

Scielo Internacional

Latindex Catalogo

CIAT-Pastos Tropicales (Colombia)

Revenicyt (Venezuela)

Tropical Abstracts (Holanda)

Bionet (Venezuela)

Weed abstracts

Serials Cited Index

SilverPlatter Information

Agroforestry Abstracts

Orton (México)

Sistema de Información y Documentación Agrícola de

Venezuela y Electronic Sites of Leading Botany

Plant Biology and Science Journals

Periódica (México)

Dairy Science Abstracts

Field Crop Abstracts

Grasslands and Forage Abstracts

World Agricultural Economics and Rural Sociology

Abstracts

Revista de la Facultad de Agronomía de la Universidad del Zulia

Maracaibo, Enero-Marzo 2021. Vol. 38, Número 1. Págs. 1-215.

Índice

Editorial

01-05

Producción Vegetal, Plant Production

**Algunos parámetros biológicos en la evaluación
de la estabilidad y la madurez de dos compost**

Some biological parameters in the evaluation of the
stability and maturity of two compost

Luisa Villalba, Jorge Paolini y Carlos Rocha

06-30

**Dimensionamiento de terrazas con el software
Terraço 4.1 en una zona agrícola de Brasil**

Dimensioning of terraces with the Terraço 4.1 software
in an agricultural area of Brazil

Jasmine Alves Campos, Uilson Ricardo Venâncio Aires y

Rubens Junqueira

31-42

**Efecto del ácido salicílico sobre la germinación
y crecimiento inicial del café (*Coffea arabica* L.
var. Costa Rica 95)**

Effect of salicylic acid on the germination and initial
growth of coffee (*Coffea arabica* L. var. Costa Rica 95)

Alder Gordillo Curiel, Luis Alfredo Rodríguez Larramendi,

Miguel Ángel Salas, Marina y María de los Ángeles Rosales

Esquinca

43-59

**Selección de plantas élites de lechosa ‘Maradol’
para la producción de semillas de calidad**

Selection of elite “Maradol” papaya plants for the
production of quality seeds

Ariadne Vegas García, Andy Díaz, Delis Pérez, Yanet Sandra,

Grigna Piña y Carlos Marín Rodríguez

60-83

Effect of duckweed meal dietary inclusion on growth performance and survival of African catfish fingerlings

Efecto de la inclusión de harina de lenteja de agua en dieta sobre el crecimiento y la supervivencia de los alevines de bagre Africano

Yuniel Méndez-Martínez, Yenny G. Torres Navarrete, Yilian Pérez Tamames, Misleidi Romás Viltres y Edilmar Cortés-Jacinto

84-104

Tecnología de Alimentos, Food Technology

Producción de biodiesel por esterificación y transesterificación de aceites vegetales de cocina usados

Production of biodiesel by esterification and transesterification from waste cooking oils

Elsy Arenas Dávila, Aidin Urribarrí, John Sánchez, Marisela Rincón, Karina Martínez, Eduardo González y Cateryna Aiello Mazzarri

105-127

Sensory attributes, nutritional values and innocuousness of hamburgers made with cherry pulp, soy and pork meet

Atributos sensoriales, valor nutricional e inocuidad de hamburguesas elaboradas con pulpa de cereza, soya y carne de cerdo

Nelson E. Loyola Lopez, Carlos Acuña Carrasco and Mariela A. Arriola Herrera

128-150

Socioeconomía, Socioeconomics

Agricultural supports and farmers' satisfaction: A latent variable application in Turkey

Apoyos agrícolas y satisfacción del agricultor: una aplicación de variable latente en Turquía

Bekir Demirtas

151-175

**Tipificación socio-agronómica y energética
de productores de maíz en la región Frailesca,
Chiapas, México**

Socio-agronomic and energy typification of maize-farmers
in the Frailesca region of Chiapas, Mexico

Franklin B. Martínez-Aguilar, Francisco Guevara-Hernández,
Manuel A. La O-Arias, Carlos E. Aguilar-Jiménez, Luis
A. Rodríguez-Larramendi y René Pinto-Ruiz

176-198

Ambiente, Environment

**Fitorremediación de aguas contaminadas con
arsénico mediante islas flotantes artificiales:
revisión bibliográfica**

Phytoremediation of arsenic-contaminated waters by
artificial floating island: literature review

Kalina Marcela Fonseca Largo, Joseline Luisa Ruiz
Depablos, Edgar Fabián Espitia Sarmiento, Edward
Alexander Campaña Pallasco y Evelyn Liseth Moreno Chicaiza

199-215

Editorial

COVID-19 y seguridad agroalimentaria

COVID-19 and food security

El arribar a un nuevo año, 2021 y publicar nuestro primer número, queremos reseñar con el presente Editorial, a un año que culmina, 2020, pero que para la humanidad no pasó y no quedará en el olvido, ante los miles de contratiempos en que se vio inmersa, y uno de ellos fue por la enfermedad infecciosa del Coronavirus (SARS-CoV-2), declarada Pandemia por la Organización de las Naciones Unidas (ONU) en marzo del 2020, obligando a los diferentes gobiernos a tomar decisiones a los fines de resguardar la salud de sus pobladores y controlar su propagación mientras se espera lograr la vacuna para su control. Observándose su efecto devastador mayormente en los países pobres, los más vulnerables, con mayor riesgo, dada sus condiciones socioeconómicas de pobreza, que los expone en su día a día, ante la imposibilidad de cumplir con las medidas de aislamiento establecidas, a salir a buscar los recursos para su alimentación.

En Venezuela, el panorama no fue ni es diferente, ya que enfrentamos esta Pandemia del Covid-19, con una condición socioeconómica y política prácticamente de caos, con los peores indicadores de desempeño, que afectan las condiciones humanas de la sociedad, provocado por el desplome de la producción nacional, reflejado en la

Arriving at a new year, 2021 and publishing our first issue, we want to review with this Editorial, a year that ends, 2020, but that for humanity did not pass by and will not be forgotten, before the thousands of setbacks in which was immersed, and one of them was due to the infectious disease, the Coronavirus (SARS-CoV-2), declared a Pandemic by the United Nations (UN) in March 2020, forcing different governments to make decisions to safeguard health of its inhabitants and controlling its spread while waiting to achieve the vaccine for its control. Observing its devastating effect mainly in poor countries, the most vulnerable, with the greatest risk, given their socioeconomic conditions of poverty, which exposes them in their daily life, given the impossibility of complying with the established isolation measures, to go out and search resources for their food.

In Venezuela, the panorama was not and is not different, since we are facing this Covid-19 Pandemic, with a socioeconomic and political condition practically of chaos, with the worst performance indicators, which affect the human conditions of society, caused by the collapse of national production, reflected in the drop in GDP, inflationary indices that exceed any prediction, increased

caída del PIB, unos índices inflacionarios que superan cualquier predicción, incremento del desempleo, pérdida del valor real de nuestra moneda, déficit fiscal, dualidad de medios de pago y del valor de los productos de los bienes y servicios, pérdida del poder adquisitivo de la población asalariada, deterioro de los servicios públicos, migración de la población en busca de mejores condiciones de vida, entre otros. Con este panorama, nos “preparamos” para recibir los efectos del Covid-19 y convivimos durante todo el año 2020. Sintiendo su mayor impacto en la Seguridad Alimentaria, ante el aumento de la pobreza y el hambre en más del 80% de la población venezolana.

Este problema de la alimentación y sus diferentes relaciones causales se han considerado y analizado nacional e internacionalmente por organismos e instituciones, gubernamentales, no gubernamentales y científicas/académicas, a los fines de evaluar el impacto en el sistema agroalimentario, desde las unidades de producción hasta el consumidor final y considerar los niveles de emergencia sanitaria y/o humanitaria para recomendar las medidas para abordarlos. Y en esto, la comunidad científica del país especializada en el área, no ha estado ni ausente ni a espaldas para exponer a través de los diferentes equipos de acción, las estrategias para buscar y proponer soluciones, producto de estudios prospectivos, multisectoriales de investigación básica y experimental desarrollados en los centros de estudios y de investigación del país, que permiten la actualización de las Revistas Científicas especializadas en el área.

unemployment, loss of the real value of our currency, fiscal deficit, duality of means of payment and the value of the products of goods and services, loss of purchasing power of the salaried population, deterioration of public services, migration of the population in search of better living conditions, among others. With this panorama, we “prepare” to receive the effects of Covid-19 and we coexist throughout 2020. Feeling its greatest impact on Food Security, given the increase in poverty and hunger in more than 80% of the venezuelan population.

This food problem and its different causal relationships have been considered and analyzed nationally and internationally by governmental, non-governmental and scientific/academic organizations and institutions, in order to evaluate the impact on the agri-food system, from the production units to the final consumer and consider the levels of health and/or humanitarian emergencies to recommend the measures to address them. And in this, the country’s scientific community specialized in the area has not been absent or behind its back to expose through the different action teams, the strategies to seek and propose solutions, the product of prospective, multisectoral studies of basic research and experimental developed in the study and research centers of the country, which allow the updating of the Scientific Journals specialized in the area.

The results of the studies and consultations in the country have determined the low direct impact of

Los resultados de los estudios y consultas en el país han determinado el bajo impacto directo del Covid-19 en los procesos de los sistemas agroalimentarios, tanto en las unidades de producción, en las unidades de procesamiento primario, artesanal o agroindustrias de alimentos hasta los puntos de distribución y ventas al consumidor, aunque no existe una cifra oficial que permita evaluar este impacto o efecto del Covid-19 en el sector agroalimentario, si se puede indicar el bajo impacto de afectación a los diferentes actores que participan tales como técnicos, especialistas, mano de obra, de manera directa e indirecta en los circuitos agroalimentarios.

Los impactos del Covid-19 en la seguridad alimentaria son globales y sistémicos, con efectos dramáticos en la población pobre de escasos recursos y con limitaciones para el acceso a los alimentos. Efecto de las medidas de confinamiento han provocado el incremento del desempleo formal e informal, paralización de muchos sectores económicos que se refleja en un empobrecimiento acelerado de la población más vulnerable, pérdida del nivel de ingreso, sin capacidad para adquirir los productos básicos para satisfacer las necesidades alimenticias.

En Venezuela, ya para los últimos cinco años comienzan las alarmas sobre la nutrición y alimentación de la población por diferentes organismos, nacionales e internacionales donde plantean la necesidad de implementar medidas humanitarias para abordar el problema de la seguridad alimentaria y permitir el acceso a los principales productos del patrón de consumo, sobre

Covid-19 in the processes of the agri-food systems, both in the production units, in the primary processing units, artisanal or food agroindustries up to the points distribution and sales to the consumer, although there is no official figure that allows evaluating this impact or effect of Covid-19 in the agri-food sector, it is possible to indicate the low impact of affectation to the different actors that participate such as technicians, specialists, labor, directly and indirectly in the agri-food circuits.

The impacts of Covid-19 on food security are global and systemic, with dramatic effects on the poor population with limited resources and limited access to food. The effect of the confinement measures has caused an increase in formal and informal unemployment, paralysis of many economic sectors that is reflected in an accelerated impoverishment of the most vulnerable population, loss of income level, without the ability to acquire basic products to satisfy nutritional needs.

In Venezuela, for the last five years, alarms have begun about the nutrition and food of the population by different national and international organizations where they raise the need to implement humanitarian measures to address the problem of food security and allow access to the main products of the consumption pattern, especially animal protein. Also review the deficient policy of the Comités Locales de Abastecimiento y Producción (CLAP), due to the low coverage, the low frequency of distribution, the quality and the

todo proteína animal. También revisar la deficiente política de los Comités Locales de Abastecimiento y Producción (CLAP), por la baja cobertura, la baja frecuencia de distribución, la calidad y la disminución de la variedad de productos. No obstante, se puede afirmar que el efecto del Covid-19 en el sistema alimentario y por ende en la alimentación, no es más que la consecuencia de la disposición de aislamiento social implementadas por el estado a través de medidas de restricción en el horario para las diferentes actividades de los sectores económicos.

Debido a la pandemia por COVID-19, las cifras de desnutrición en Venezuela se han incrementado e intensificado; según Cáritas Venezuela, desde abril ha subido de 8,9% a 17,6%, según sondeo en más de 20 estados, los venezolanos “no tienen cómo llevar comida a casa, ni cómo hacer una dieta balanceada”. De igual manera la Conferencia Episcopal de Venezuela (CEV) indica la necesidad de buscar mecanismos de articulación entre las instancias del Estado con instituciones y organismos internacionales para la distribución, que permita la entrada del Programa Mundial de Alimentos y políticas públicas con soluciones concretas y eficaces a la problemática. Según la Encuesta Nacional de Condiciones de Vida (ENCOVI), 33% de hogares venezolanos están en situación de inseguridad alimentaria severa.

Otro informe publicado, en abril, por la Red Global contra las Crisis alimentarias y la Red de Información sobre Seguridad Alimentaria, ubica a Venezuela entre los primeros cuatro países del mundo con inseguridad

decrease in the variety of products. However, it can be affirmed that the effect of Covid-19 on the food system and therefore on food, is nothing more than the consequence of the provision of social isolation implemented by the state through restriction measures in the hours for different activities of the economic sectors.

Due to the COVID-19 pandemic, the malnutrition figures in Venezuela have increased and intensified; according to Cáritas Venezuela, since April it has risen from 8.9% to 17.6%, according to a survey in more than 20 states, venezuelans “do not have how to take food home, or how to eat a balanced diet”. In the same way, the Conferencia Episcopal de Venezuela (CEV) indicates the need to look for mechanisms of articulation between the instances of the State with institutions and international organizations for distribution, which allows the entry of the World Food Program and public policies with concrete and effective solutions to the problem. According to the Encuesta Nacional de Condiciones de Vida (ENCOVI), 33% of venezuelan households are in a situation of severe food insecurity.

Another report published in April by the Red Global contra las Crisis alimentarias y la Red de Información sobre Seguridad Alimentaria, places Venezuela among the first four countries in the world with food insecurity, classifying it as a country in “emergency”. A perspective that coincides with the Poverty Studies Project of the Universidad Católica Andrés Bello (UCAB), which confirms

alimentaria, clasificándolo como un país en “emergencia”. Una perspectiva que coincide con el Proyecto sobre Estudios de la Pobreza de la Universidad Católica Andrés Bello (UCAB) que constata que estos resultados son consecuencia del crecimiento de la pobreza en un país que ya se encuentra entre los más pobres de América Latina.

Ante esta situación, recibimos este dos mil veintiuno (2021), con mayor incertidumbre que el 2020, pero con la disposición y la esperanza, entre otros aspectos, del anuncio por diferentes empresas y países, de la vacuna contra la Covid-19 y el de declarar medidas humanitarias asertivas para abordar los problemas sociales de alimentación, hambre, pobreza y de salud que afecta a la humanidad y en esos aspectos la Academia, sus Investigadores e Instituciones seguros estamos serán los primeros a la vanguardia para garantizar la salida a esta crisis y Venezuela estará como siempre en América Latina en pie de lucha por la Seguridad Alimentaria.

that these results are a consequence of the growth of poverty in a country that is already among the poorest in Latin America.

Given this situation, we received this two thousand twenty-one (2021), with greater uncertainty than 2020, but with the willingness and hope, among other aspects, of the announcement by different companies and countries, of the vaccine against Covid-19 and the declaration of assertive humanitarian measures to address social food problems, hunger, poverty and health that affect humanity and in these aspects the Academy, its Researchers and Institutions are sure we will be the first at the forefront to guarantee the solution to this crisis and Venezuela will be as always in Latin America in in the fight for Food Security.

Ing. Agr. MSc. Emma Segovia
Directora de la División de
Estudio para Graduados
Facultad de Agronomía
Universidad del Zulia



Ing. Agr. MSc. Emma Segovia
Director of the Graduate Division
Faculty of Agronomy
University of Zulia

Algunos parámetros biológicos en la evaluación de la estabilidad y la madurez de dos compost

Some biological parameters in the evaluation of the stability and maturity of two compost

Alguns parâmetros biológicos na avaliação da estabilidade e maturidade de dois compostos

Luisa Villalba^{1*}, Jorge Paolini² y Carlos Rocha³

¹Universidad Central de Venezuela. Facultad de Ciencias. Instituto Zoología y Ecología Tropical (IZET). Caracas, Venezuela. Correo electrónico: luisa.villalba@ciens.ucv.ve, . ²Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas, IVIC. Altos de Pipe, Miranda, Venezuela. Correo electrónico: mapire3000@gmail.com, . ³Universidad Simón Bolívar, Sartenejas, Miranda, Venezuela. Correo electrónico: crocha@usb.ve.

Resumen

El compostaje representa una alternativa para el aprovechamiento de los residuos orgánicos al transformarlos en una enmienda orgánica que mejora la estructura y fertilidad de los suelos. Por ser un proceso microbiológico, se planteó como objetivo analizar algunos parámetros biológicos en la evaluación de la estabilidad y madurez de dos compost. Se elaboraron dos compost con residuos generados en la Universidad Simón Bolívar uno obtenido a partir de residuos orgánicos del comedor y otro a partir de restos vegetales provenientes de la poda de los jardines. Los parámetros evaluados fueron la temperatura y el conteo microbiano, expresado como unidades formadoras de colonias por gramo de compost para levaduras y para bacterias aerobias y anaerobias (a su vez clasificando las bacterias por el método de tinción Gram), así como el índice de germinación determinado por el test de fitotoxicidad. Los resultados obtenidos permitieron concluir que la temperatura de la pila de compost es un buen indicador de la evolución del proceso de compostaje, al estar íntimamente asociado con la actividad biológica indicando las etapas del proceso, en los compost analizados el conteo microbiano permitió evaluarlos como estables, la clasificación bacteriana por tinción Gram, representó un buen indicador de las sucesiones que ocurren en

Recibido el 01-05-2020 • Aceptado el 09-06-2020.

*Autor de correspondencia. Correo electrónico: luisa.villalba@ciens.ucv.ve

el proceso de compostaje y fue útil para ayudar a la clasificación de las bacterias presentes; el test de fitotoxicidad permitió corroborar el grado de madurez y estabilidad de los compost estudiados.

Palabras clave: compostaje, contaje microbiano, fitotoxicidad.

Abstract

Composting represents an alternative for the use of organic waste by transforming it into an organic amendment that improves the structure and fertility of soils. As it is a microbiological process, the objective was to analyze some biological parameters in the evaluation of the stability and maturity of two compost. Two compost was made with waste generated at the Simón Bolívar University one obtained from organic waste generated in the dining room and the other from plant remains from the pruning of the gardens. The parameters evaluated were temperature and microbial count, expressed as colony-forming units per gram of compost for yeast, and for aerobic and anaerobic bacteria (in turn classifying the bacteria by the Gram staining method), as well as the germination index determined by the phytotoxicity test. The results obtained allowed us to conclude that: the temperature of the compost pile is a good indicator of the evolution of the composting process, as it is closely associated with biological activity indicating the stages of the process, in the compost analyzed, the counting of microorganisms allowed to evaluate them as stable, the bacterial classification by Gram staining, represented a good indicator of the successions that occur in the composting process and was useful to help the classification of the bacteria present; the phytotoxicity test corroborated the degree of maturity and stability of the studied compost.

Keywords: composting, microbial count, phytotoxicity.

Resumo

A compostagem representa uma alternativa para o uso de resíduos orgânicos, transformando-o em uma emenda orgânica que melhora a estrutura e a fertilidade dos solos. Por se tratar de um processo microbiológico, o objetivo foi analisar alguns parâmetros biológicos na avaliação da estabilidade e maturidade de dois compostos. Dois compostos foram feitos com resíduos gerados na Universidade Simón Bolívar, um obtido a partir de resíduos orgânicos da cantina e outro a partir de restos de plantas provenientes de podas nos jardins. Os parâmetros avaliados foram temperatura e contagem microbiana, expressos em unidades formadoras de colônia por grama de composto para levedura e bactérias aeróbias e anaeróbias (por sua vez, classificando as bactérias pelo método de coloração de Gram), bem como o índice de germinação, determinado pelo teste de fitotoxicidade. Os resultados obtidos permitiram concluir que a temperatura da pilha de composto é um bom indicador da evolução do processo de compostagem, pois está

intimamente associada à atividade biológica que indica as etapas do processo. No composto analisado, a contagem microbiana permitiu avaliá-las como estáveis. , a classificação bacteriana por coloração de Gram representou um bom indicador das sucessões que ocorrem no processo de compostagem e foi útil para auxiliar na classificação das bactérias presentes; O teste de fitotoxicidade corroborou o grau de maturidade e estabilidade do composto estudado.

Palavras-chave: compostagem, contagem microbiana, fitotoxicidade.

Introducción

El compostaje permite resolver un problema de gestión de residuos sólidos orgánicos debido a que representa una alternativa práctica y económica para su aprovechamiento, al transformarlos en una enmienda con grandes virtudes como mejorador y/o acondicionador de suelos que facilita la disponibilidad de nutrientes, mejora su estructura y actúa como agente supresor de patógenos vegetales (Bernal *et al.*, 2017; García *et al.*, 2014; Rebollido *et al.*, 2008; Satoshi, 2013; van Elsas y Postma, 2007).

La calidad de un compost, de acuerdo a García *et al.* (2014) es “la capacidad o aptitud del compost para satisfacer las necesidades de las plantas, con un mínimo impacto ambiental y sin riesgo para la salud pública”, y está determinada por su madurez, definida ésta por su estabilización biológica y su “humificación”, así como también por la ausencia de patógenos y de metales pesados (Moreno y Moral, 2008; Román *et al.*, 2013; Satoshi, 2013).

Los compost maduros presentan concentraciones insignificantes de sustancias fitotóxicas de carácter orgánico (aquellas producidas durante la fase más activa del proceso

Introduction

Composting allows solving an organic solid waste management problem because it represents a practical and economic alternative for its use, by transforming them into an amendment with great virtues as a soil improver and/or conditioner that facilitates the availability of nutrients, improves its structures and acts as a suppressive agent for plant pathogens (Bernal *et al.*, 2017; García *et al.*, 2014; Rebollido *et al.*, 2008; Satoshi, 2013; van Elsas and Postma, 2007).

The quality of a compost, according to García *et al.* (2014) is “the capacity or aptitude of the compost to satisfy the needs of the plants, with a minimum environmental impact and without risk to public health”, and is determined by its maturity, defined by its biological stabilization and its “humification”, as well as the absence of pathogens and heavy metals (Moreno and Moral, 2008; Román *et al.*, 2013; Satoshi, 2013).

The mature compost presents insignificant concentrations of phytotoxic substances of organic character (those produced during the most active phase of the composting process as short chain acids) or inorganic, such as NH₃. Thus, a mature compost, according to Rivero (1999)

de compostaje como ácidos de cadena corta) o inorgánico, como por ejemplo NH_3 . Es así, que un compost maduro, de acuerdo con Rivero (1999) y Paul (2015), debe haber cumplido con la fase más activa del proceso (termófila) en la que predominan bacterias de los géneros *Bacillus*, *Thermus* e *Hydrogenobacter* y Actinobacterias-*Streptomyces*.

En este sentido, Cooperband *et al.* (2003) y Moreno y Moral (2008), señalan que la estabilidad del compost se puede definir como el grado de descomposición de la materia orgánica o biodisponibilidad de materia orgánica, la cual es función directa del nivel de actividad de la biomasa microbiana y determinada por medio del O_2 consumido, el CO_2 desprendido o el calor producido como resultado de la actividad microbiológica.

Es poco lo que sabemos sobre los microorganismos involucrados en el proceso de compostaje debido a la diversidad y estructura de estas comunidades (Rebollido *et al.*, 2008; Partanen *et al.*, 2010); en este sentido, debido a su elevada complejidad, es la actividad microbiológica un parámetro importante que puede contribuir a determinar la calidad del producto final. Así, por ejemplo, el grado de estabilidad se puede determinar directamente a partir del conteo de grupos microbianos o de medidas de la actividad metabólica o bien, indirectamente, por medio del estudio de los constituyentes fácilmente biodegradables o susceptibles a la degradación (Departamento de Agricultura de la DGA, 2001; Ceustermans *et al.*, 2010; Cervera *et al.*, 2012).

and Paul (2015), must have fulfilled the most active phase of the process (thermophilic) in which bacteria of the genera *Bacillus*, *Thermus* and *Hydrogenobacter* and Actinomycetes of genus-*Streptomyces* predominate.

In this sense, Cooperband *et al.* (2003) and Moreno and Moral (2008), point out that stability of the compost can be defined as the degree of decomposition of organic matter or bioavailability of organic matter, which is a direct function of the level of activity of the microbial biomass and determined through the consumed O_2 , the released CO_2 or the heat produced as the result of the microbiological activity.

Little is known about the microorganisms involved in the composting process due to the diversity and structure of these communities (Rebollido *et al.*, 2008; Partanen *et al.*, 2010); in this sense, due to its high complexity, the microbiological activity is an important parameter that can contribute to determining the quality of the final product. Thus, for example, the degree of stability can be determined directly from the count of microbial groups or from measures of metabolic activity or, indirectly, through the study of constituents that are easily biodegradable or susceptible to degradation (Department of Agriculture of the DGA, 2001; Ceustermans *et al.*, 2010; Cervera *et al.*, 2012).

For the microbial counting, direct or indirect methods have been used. In the first case, the different groups of microorganisms are isolated and identified, by obtaining compost

Para el contaje microbiano se han utilizado métodos directos o indirectos, en el primer caso se procede al aislamiento e identificación de los diferentes grupos de microorganismos, mediante la obtención de extractos de compost que luego son sembrados en medios de cultivo, en general, específicos para cada grupo a identificar. La evaluación del crecimiento y las características de las colonias, por observación directa o al microscopio, suministra información acerca de las poblaciones presentes. Las técnicas más utilizadas son el contaje en placa y el número más probable. En los denominados métodos indirectos se agrupan aquellos basados en propiedades funcionales de los grupos microbianos, que pueden medirse y luego relacionarse con poblaciones presentes (Rivero, 1999).

Según la temperatura generada durante el proceso de compostaje, numerosos autores (De Bertoldi *et al.* 1983; Insam y De Bertoldi, 2007; Román *et al.*, 2013; Paul, 2015) identifican cuatro fases, cada una de las cuales está caracterizada por la actividad de diferentes grupos de organismos; así tenemos, una primera fase de corta duración que corresponde al tiempo necesario para que los microorganismos se aclimaten y colonicen el nuevo ambiente en la pila de compost, está caracterizada por un crecimiento microbiano rápido, con un incremento desde la temperatura ambiente hasta 40 - 45 °C, donde predominan organismos mesófilos (bacterias y hongos) capaces de degradar los componentes de fácil descomposición como azúcares

extracts that are then sown in different cultura media, generally specific for each group in order to identify them identify. Evaluation of the growth and characteristics of the colonies, by direct observation or under a microscope, provides information about the populations present. The most used techniques are the plate count and the most probable number. In the so-called indirect methods, those based on the functional properties of the microbial groups are grouped, which can be measured and then related to the populations present (Rivero, 1999).

According to the temperature generated during the composting process, numerous authors (De Bertoldi *et al.*, 1983; Insam and De Bertoldi, 2007; Román *et al.*, 2013; Paul, 2015) identify four phases, each of which is characterized by the activity of different groups of organisms; thus we have, a first phase of short duration that corresponds to time necessary for the microorganisms to acclimatize and colonize the new environment in the compost pile, is characterized by rapid microbial growth, with an increase from room temperature to 40 - 45 °C, where mesophilic organisms (bacteria and fungi) capable of degrading easily decomposable components such as sugars and proteins predominate; Subsequently, the thermophilic or hygienization phase follows, where the temperature rises above 45 °C for several weeks where thermophilic organisms responsible for the degradation of complex carbon sources such as celluloses, hemicelluloses, lignins and chitins predominate;

y proteínas; posteriormente, sigue la fase termófila o de higienización, donde la temperatura se eleva por encima de los 45 °C durante varias semanas donde predominan los organismos termófilos responsables de la degradación de fuentes de carbono complejas como celulosas, hemicelulosas, ligninas y quitinas; posteriormente al agotarse las fuente de carbono y en especial de nitrógeno en el material de compostaje, comienza a enfriarse la pila, retornan los organismos mesófilos y el proceso de compostaje continua hasta la fase final de maduración o neoformación de sustancias húmicas que puede ser un período de varios meses a temperatura ambiente. De allí que la flora del compost es extremadamente diversa.

En este contexto, el objetivo del trabajo fue analizar algunos parámetros biológicos en la evaluación de la estabilidad y la madurez de dos compost. Los parámetros evaluados fueron la temperatura, el contaje microbiano, expresado como unidades formadoras de colonias por gramo de compost para levaduras y para bacterias aerobias y anaerobias (a su vez clasificando las bacterias por el método de tinción Gram), y el índice de germinación determinado por el test de fitotoxicidad.

Materiales y métodos

Se prepararon dos compost uno identificado como compost comedor (CC) y un segundo denominado compost de jardín (CJ).

Compost de comedor (CC). Se elaboró con base a restos orgánicos

Subsequently, when the carbon and especially nitrogen sources in the composting material are exhausted, the pile begins to cool down, the mesophilic organisms return and the composting process continues until the final phase of maturation or new formation of humic substances, which may be a period several months at room temperature. Hence, the compost flora is extremely diverse.

In this context, the objective of the work was to analyze some biological parameters in the evaluation of the stability and maturity of two compost. The parameters evaluated were temperature, microbial count, expressed as colony-forming units per gram of compost for yeast and for aerobic and anaerobic bacteria (in turn classifying the bacteria by the Gram staining method), and the germination index was determined by the phytotoxicity test.

Materials and methods

Two compost were prepared, one identified as dining room compost (CC) and a second called garden compost (CJ).

Dining Compost (CC). It was made based on organic remains generated in the dining room of the Universidad Simón Bolívar (USB) (eggshell, coffee grounds, legume residues, vegetables, fruits that do not include processed food, meat, or fats), pruning remains (leaves and branches, mainly) from garden maintenance of the USB and soil adjacent to the area where the

generados en el comedor de la Universidad Simón Bolívar (USB) (cáscara de huevos, borra de café, residuos de legumbres, hortalizas, frutas que no incluye comida elaborada, carnes, ni grasas), restos de poda (hojas y ramas, principalmente) del mantenimiento de las áreas verdes de la USB y suelo aledaño a la zona donde se hizo el compost, de tal manera de ser utilizado como inóculo de microorganismos.

Para la elaboración del CC primero se hizo un inventario de los residuos orgánicos generados en las áreas verdes, así como en los comedores y los cafetines de la USB; segundo, se determinó el contenido de carbono orgánico (Walkley y Black - digestión con dicromato de potasio y colorimetría) y nitrógeno total (método Kjeldahl - digestión con ácido sulfúrico) de los residuos orgánicos empleados; tercero, se utilizó la metodología propuesta por Richard y Trautmann (2002), para estimar las cantidades de cada material a utilizar en la preparación de la mezcla, de tal manera de obtener una relación inicial 30:1 de C:N, aproximadamente. De allí que se utilizaron tres partes de residuos de jardín por una parte de residuos de comedor y 0,30 % de suelo en la elaboración de una pila de compost.

Compost de jardín (CJ). Este fue el segundo compost que se evaluó, y es el que realiza normalmente el Vivero El Horticultor en la USB (por confidencialidad se reservan los materiales y cantidades utilizados), con base a restos de poda al cual le agregan una mezcla multienzimática denominada "Rizobact®", para

compost was made, so as to be used as an inoculum of microorganisms.

For preparation of the CC, an inventory was first made of the organic waste generated in the canteens and cafes of the USB; second, the organic carbon content (Walkley and Black - digestion with potassium dichromate and colorimetry) and total nitrogen (Kjeldahl method - digestion with sulfuric acid) of the organic residues used were determined; third, the methodology proposed by Richard and Trautmann (2002) was used to estimate the quantities of each material to be used in the preparation of the mixture, in order to obtain an initial 30:1 ratio of C:N, approximately. Hence, three parts of garden waste was used for one part of dining room waste and 0.30 % of soil in the preparation of a compost pile.

Garden compost (CJ). This was the second compost that was evaluated, and it is the one that is normally carried out by the Nursery El Horticultor in the USB (due to confidentiality the materials and quantities used are reserved), based on pruning remains to which they add a multienzyme mixture called "Rizobact®", to promote microbial activity (to replace soil microorganisms), it was identified as garden compost (CJ).

Compost management. Both compost (CC and CJ) were made simultaneously, for each one a pile (volume of approximately 9 m³) was made on the ground in terrains of the USB Nursery El Horticultor. The compost piles lasted five months (150 days), a composite sample was taken at the beginning (M0) and subsequently

promover la actividad microbiana (en sustitución de los microorganismos del suelo), el mismo fue identificado como compost jardín (CJ).

Manejo del compost. Ambos compost (CC y CJ) se realizaron simultáneamente, para cada uno se elaboró una pila (volumen de 9 m³ aproximadamente) sobre el suelo en terrenos del Vivero El Horticultor de la USB. Las pilas de compost tuvieron una duración de cinco meses (150 días), se tomó una muestra compuesta al inicio (M0) y posteriormente una cada mes (M1, M2, M3, M4, M5), para un total de 6 muestras compuestas (tomadas de 5 partes de la pila) por cada tipo de compost.

Durante la preparación de los compost se mantuvo la humedad y la aireación en las pilas de compostaje, mediante los volteos del material de la pila con un payloader y luego la aplicación de agua con una manguera. Estas labores se hicieron cada 10 ó 15 días durante los tres primeros meses y luego una vez al mes al finalizar el proceso, midiendo en cada oportunidad la temperatura con un termómetro digital marca Hanna®, conectado con una varilla utilizada como sensor, la cual se introdujo al centro de la pila desde varios sitios. La humedad recomendada es de un 60 %, esto se logró agregando a la pila de compost el agua hasta que escurriera, momento a partir del cual se dejaba de regar (Trautmann y Krasny, 1998).

Cuantificación de la población microbiana. Se aplicaron las técnicas estándares de microbiología especificadas en el Manual de Laboratorio de

one every month (M1, M2, M3, M4, M5), for a total of 6 composite samples (taken from 5 parts of the pile) for each type of compost.

During compost preparation, humidity and aeration were maintained in the compost piles, by turning the pile material with a payloader and then applying water with a hose. These tasks were carried out every 10 or 15 days during the first three months and then once a month at the end of the process, each time measuring the temperature with a Hanna® brand digital thermometer, connected to a rod used as a sensor, which is introduced to the center of the pile from various places. The recommended humidity is 60 %, this was achieved by adding the water to the compost pile until it drained, at which point it stopped watering (Trautmann and Krasny, 1998).

Microbial population quantification. Standard microbiology techniques specified in the USB Environmental Microbiology Laboratory Manual (1999) and considerations by Trautmann and Krasny (1998) were applied. All determinations were made in triplicate.

Aerobic bacterial population. Colony forming units (UFC) per gram of compost were determined by seeding the sample on the surface on the surface of agar nutrient plates (Merck®), incubated at 37 °C for 48 hours in an aerobic environment.

Anaerobic bacterial population. The procedure was the same as in the previous procedure, except that the samples were incubated in an anaerobic jar (GasPak system) that achieves anaerobiosis by introducing

Microbiología Ambiental de la USB (1999) y consideraciones de Trautmann y Krasny (1998). Todas las determinaciones se realizaron por triplicado.

Población bacteriana aeróbica. Se determinaron las unidades formadoras de colonia (UFC) por gramo de compost a través de siembra de la muestra en superficie para aislamiento en placas de agar nutritivo (Merck®), incubadas a 37 °C por 48 horas en ambiente aeróbico.

Población bacteriana anaeróbica. Se procedió igual que en el procedimiento anterior, a excepción de que las muestras fueron incubadas en una jarra anaeróbica (sistema GasPak) que logra la anaerobiosis al introducir en el recipiente tabletas generadoras de gas y cerrarlo herméticamente, para incubarlos a 37 °C por 48 horas.

Población micótica anaeróbica (levaduras). Se determinaron las UFC de levaduras por gramo de muestra mediante la siembra en superficie para aislamiento en agar dextrosa Sabouraud pH 5,6 (Merck®), suplementado con penicilina y estreptomycin (1 mL de suspensión de 6.000.000 UI, en cada cápsula de Petri), y se incubaron a 37 °C por 72 horas en ambiente de jarras anaeróbicas. No se consideró la cuantificación de la población micótica aeróbica debido a que es muy compleja su determinación, ya que son microorganismos de rápido crecimiento y muy expansivo.

Clasificación bacteriana por el método de tinción Gram. Una vez obtenidos los cultivos

gas-generating tablets into the container and sealing it, to incubate them at 37 °C for 48 hours.

Anaerobic fungal population (yeast). Yeast UFCs per gram of sample were determined by surface seeding on Sabouraud pH 5.6 dextrose agar (Merck®), supplemented with penicillin and streptomycin (1 mL of suspension of 6.000.000 UI, in each Petri capsule), and incubated at 37 °C for 72 hours in anaerobic jar environment. The quantification of the aerobic fungal population was not considered because their determination is very complex, since they are fast growing and very expansive microorganisms.

Bacterial classification by the Gram staining method. Once the bacterial cultures were obtained, Gram staining was performed for each bacterial culture that presented morphologically different colonies, identifying the bacteria in Gram+ and Gram- and according to their morphology (cocci and bacilli).

Determination of the Phytotoxicity. For each sample, in five times, the germination index was determined according to the method of Zucconi *et al.* (1981) using lettuce seeds (*Lactuca sativa* L.). In this test, 2 mL of aqueous extract of the substrates (1:5) was added in a Petri dish with filter paper containing 10 lettuce seeds. Subsequently, after two days of incubation in the dark at 22 °C, germination was stopped with the addition of 1 mL of ethanol, the number of germinated seeds and the root length were determined. The control was prepared using distilled water (Acosta *et al.*, 2004).

bacterianos se procedió a realizar la tinción Gram para cada cultivo bacteriano que presentaba colonias morfológicamente distintas, identificando las bacterias en Gram+ y Gram- y de acuerdo a su morfología (cocos y bacilos).

Determinación de la Fitotoxicidad. Para cada muestra, por quintuplicado, se determinó el índice de germinación de acuerdo al método de Zucconi *et al.* (1981) usando semillas de lechuga (*Lactuca sativa* L.). En este test, 2 mL de extracto acuoso de los sustratos (1:5) se agregó en una capsula de Petri con papel de filtro contentiva de 10 semillas de lechuga. Posteriormente, luego de dos días de incubación en oscuridad a 22 °C, se detuvo la germinación con la adición de 1 mL de etanol, se determinó el número de semillas germinadas y la elongación de las raíces. El control se preparó utilizando agua destilada (Acosta *et al.*, 2004).

El índice de germinación (IG) se calculó de la siguiente manera:

$$\text{Índice de Germinación (IG)} = x \times 100$$

$$\text{Índice de Germinación (IG)} = \frac{\% \text{ GS} \times \text{LMS}}{\% \text{ Gagua} \times \text{LMagua}} \times 100$$

Dónde: % GS = % de semillas germinadas en el extracto de compost; % G_{agua} = % de semillas germinadas en agua destilada; LMS = longitud media de las semillas germinadas en el extracto de compost (cm); LM_{agua} = longitud media de las semillas germinadas en agua destilada (cm).

Análisis estadístico. Con el propósito de evaluar las diferencias

The germination index (GI) was calculated as follows:

$$\text{Germination index (IG)} = x \times 100$$

$$\text{Índice de Germinación (IG)} = \frac{\% \text{ GS} \times \text{LMS}}{\% \text{ Gagua} \times \text{LMagua}} \times 100$$

Where: % GS = % of germinated seeds in the compost extract; % Gagua = % of seeds germinated in distilled water; LMS = mean length of the germinated seeds in the compost extract (cm); LMagua = mean length of the seeds germinated in distilled water (cm).

Statistic analysis. In order to evaluate the differences between the values obtained for each parameter studied (which were performed in triplicate), the variability of the data was measured through the determination of the standard deviation in the Excel spreadsheet (Clifford and Taylor, 2008).

Results and discussion

Temperature. Temperature is one of the main parameters for monitoring the composting process, since its evolution is related to many of the biological reactions that take place and is also associated with the ability of the process to reduce the content of pathogens (Stentiford, 1996). Figure 1 shows the evolution of the temperature during the composting time of the two studied compost CC and CJ, where it can be seen that the maximum temperature reached in both piles varied between 55 and 60 °C, a range that is considered optimal (De Bertoldi *et al.*, 1983; Avnimelech *et al.*, 2004; Insam and De Bertoldi,

entre los valores obtenidos para cada parámetro estudiado (los cuales se realizaron por triplicado), se midió la variabilidad de los datos a través de la determinación de la desviación estándar en la hoja de cálculo Excel (Clifford y Taylor, 2008).

Resultados y discusión

Temperatura. La temperatura es uno de los principales parámetros para el monitoreo del proceso de compostaje, ya que su evolución está relacionada con muchas de las reacciones biológicas que tienen lugar y además está asociada a la capacidad del proceso de reducir el contenido de patógenos (Stentiford, 1996). En la figura 1 se muestra la evolución de la temperatura durante el tiempo de compostaje de los dos compost estudiados CC y CJ, donde se puede apreciar que la temperatura máxima alcanzada en ambas pilas varió entre 55 y 60 °C, rango que se considera óptimo (De Bertoldi *et al.*, 1983; Avnimelech *et al.*, 2004; Insam y De Bertoldi, 2007; Kumar, 2010); esta se alcanzó a partir del día 25 y se mantuvo por 45 días más.

2007; Kumar, 2010); this was reached from the 25th day and was maintained for an additional 45 days.

Likewise, the different phases of composting are observed: a mesophilic phase, with a rapid increase in temperature (25 to 40 °C) during the first 10 days (Figure 1), followed by a thermophilic or hygienization phase about 80 days approximately (up to 90 days from the start of the process). In the thermophilic phase, pathogenic mesophiles, fungi, spores, seeds and undesirable biological elements are eliminated (Golueke, 1982; Ghazifard *et al.*, 2001; Bernal *et al.*, 2017), followed by a second mesophilic phase, where the temperature tends to decrease and stabilize as a gradual decrease in microbial activity occurs, and finally, a maturation or humification phase where the temperature of the compost reaches that of the environment.

Figure 1 also shows the effect of the turning on the temperature, when observing that in the turning at 97 days after the temperature began to decreased, it caused a further increase in temperature, which indicates there was still organic matter is easily

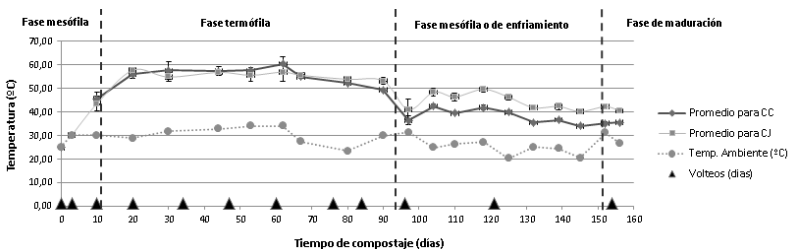


Figura 1. Variación de la temperatura (°C) en los compost estudiados (CC= Compost Comedor y CJ= Compost Jardín), durante el proceso de compostaje.

Figure 1. Variation of temperature (°C) in the studied compost (CC = Compost Comedor and CJ = Compost Jardín), during the composting process.

Igualmente, se observan las diferentes fases o etapas del compostaje: una fase mesófila, con un rápido incremento de la temperatura (25 a 40 °C) durante los primeros 10 días (figura 1), seguida de una fase termófila o de higienización de unos 80 días aproximadamente (hasta los 90 días de iniciado el proceso). En la fase termófila se eliminan los mesófilos patógenos, hongos, esporas, semillas y elementos biológicos indeseables (Golueke, 1982; Ghazifard *et al.*, 2001; Bernal *et al.*, 2017) seguidamente, continúa una segunda fase mesófila, en la cual la temperatura tiende a disminuir y a estabilizarse ya que ocurre una disminución gradual de la actividad microbiana, y finalmente tenemos una fase de maduración o humificación donde la temperatura del compost alcanza la del ambiente.

En la figura 1 también se nota el efecto del volteo sobre la temperatura, al observar que en el volteo a los 97 días cuando la temperatura comenzaba a descender, el mismo causó un incremento de nuevo en la temperatura, lo cual nos indica que aún quedaba materia orgánica de fácil degradación o que le faltó humedad a la pila; esto también explica la mayor desviación estándar observada a los 60 y 97 días.

Cuantificación microbiana. Los resultados de la sucesión de los diferentes grupos microbianos en los compost estudiados durante los seis muestreos se presentan en la figura 2.

Al comparar el CC con el CJ (figura 2) se observó que al inicio del proceso la densidad de población de las bacterias aeróbicas fue similar para ambos, luego

degraded or and a moisture lack moisture in the pile; this also explains the higher standard deviation observed at 60 and 97 days.

Microbial quantification. The results of the succession of the different microbial groups in the in the studied compost during the six samplings are presented in Figure 2.

When comparing CC with CJ (figure 2) it was observed that at the beginning of the process the population density of the aerobic bacteria was similar for both, then in the thermophilic phase the population density of the aerobic bacteria increased in greater numbers in the CJ, which decreased more than in CC in the cooling phase. At 60 days when the maximum temperatures were reached in the thermophilic phase, the densities were 2.7×10^{12} CFU.g⁻¹ compost in CJ and 2.5×10^{11} CFU.g⁻¹ compost in CC, values that agree with those indicated by Insam and De Bertoldi (2007).

This could be related to the fact that CJ was elaborated using an inoculum of a multienzyme mixture, and that this was the cause of the differences detected between the two compost at the beginning of the process; since in the case of CJ, enzymes contributed to facilitating the nutrition of microorganisms, while in the case of CC, the native microbial population of the starting materials, it is presumed that it had to develop its own mechanisms for obtaining nutrients. However, the microbial population at the end of the evaluation reached the same density (9.7×10^6 CFU.g⁻¹ compost) in both compost.

en la fase termófila se incrementó en mayor número la densidad de la población de las bacterias aeróbicas en el CJ, las cuales decrecieron en mayor cantidad que en el CC en la fase de enfriamiento. A los 60 días cuando se alcanzaron las máximas temperaturas en la fase termófila, las densidades fueron de $2,7 \times 10^{12}$ UFC.g⁻¹ compost en CJ y $2,5 \times 10^{11}$ UFC.g⁻¹ compost en CC, valores que concuerdan con los indicados por Insam y De Bertoldi (2007).

Anaerobic bacteria were found during the first three months in higher population density in CC than in CJ, but decreasing in both composts gradually after the third month, there was an increase in the population density of anaerobic bacteria in CJ compared to CC, to end of the process at the end of the process, similar values in their population density and lower than the initial the initial values were reached. These

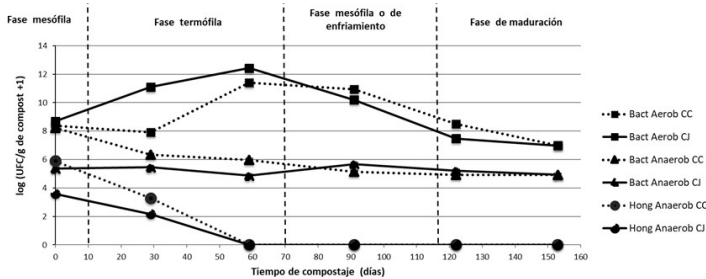


Figura 2. Resultados del conteo microbiano expresado como log (UFC.g⁻¹ de compost + 1) tanto de bacterias aeróbicas y anaeróbicas, así como de levaduras durante el proceso de compostaje (150 días) para los compost estudiados (CC= Compost Comedor y CJ= Compost Jardín).

Figure 2. Results of the microbial count expressed as log (CFU.g⁻¹ of compost + 1) of both aerobic and anaerobic bacteria, as well as yeasts during the composting process (150 days) for the compost studied (CC = Compost Comedor and CJ = Compost Garden).

Esto pudo estar relacionado con el hecho de que el CJ fue elaborado utilizando un inóculo de una mezcla multienzimática, y que ésta fuese la causa de las diferencias entre los dos compost detectadas al inicio del proceso; ya que para el caso del CJ, las enzimas contribuyeron a facilitar la nutrición de los microorganismos, mientras que en el caso del CC, la población microbiana nativa de los materiales de partida, se presume

results agree with Corlay *et al.* (1999), Ryckeboer *et al.* (2003) and Gebeyehu and Kibret (2013).

In the case of yeasts, in figure 2, they were only observed in the first two samples (M0 and M1), decreasing in both cases until they disappeared (after the thermophilic stage began in the second month). According to Moreno and Moral (2008), the presence of fungi and yeasts (unicellular fungi) during composting is mainly

que tuvo que desarrollar sus propios mecanismos para la obtención de nutrientes. Sin embargo, la población microbiana al final de la evaluación alcanzó igual densidad ($9,7 \times 10^6$ UFC.g⁻¹ compost) en ambos compost.

Las bacterias anaeróbicas se encontraron durante los tres primeros meses en mayor densidad poblacional en el CC que en el CJ, disminuyendo ambas paulatinamente; luego del tercer mes hubo un incremento de la densidad poblacional de bacterias anaeróbicas en el CJ en comparación con el CC, para posteriormente alcanzar ambos compost al final del proceso valores similares en su densidad poblacional e inferiores a los valores iniciales. Estos resultados coinciden con lo señalado por Corlay *et al.* (1999), Ryckeboer *et al.* (2003) y Gebeyehu y Kibret (2013).

En el caso de las levaduras, en la figura 2, sólo se observaron en las dos primeras muestras (M0 y M1) disminuyendo en ambos casos hasta desaparecer (luego de que se inicia la etapa termófila en el segundo mes). Según Moreno y Moral (2008), la presencia de hongos y levaduras (hongos unicelulares) durante el compostaje está condicionada principalmente por la temperatura; es así que para los CC y CJ, estas temperaturas pudieron tener un efecto antimicótico, ya que no se observaron levaduras luego de este período.

También se debe tomar en cuenta, que cuando el oxígeno está presente, las levaduras crecen eficientemente formando, a partir de los azúcares, biomasa y CO₂ (Madigan *et al.*, 1997),

conditioned by temperature; thus, for CC and CJ, these temperatures could have an antifungal effect, since no yeasts were observed after this period.

It should also be taken into account that when oxygen is present, yeasts grow efficiently, forming from sugars, biomass and CO₂ (Madigan *et al.*, 1997), and the disappearance of yeasts may be related to the fact that the sugar contents have been degraded and depleted. This study had the limitation that the aerobic fungi were studied, in which case it is probable that yeasts were found in the final stages of the composting process. It is interesting to note that under anaerobic conditions, the yeasts decreased and disappeared during the thermophilic stage.

As we can see in figure 2, the highest population density occurred in the thermophilic phase of the composting process; at this stage there was greater metabolic activity, due to the abundance and availability of a substrate with easily assimilable nutrients. This coincided and is explained as indicated by Paul (2015), Escobar *et al.* (2012) and Insam and De Bertoldi (2007), since composting is mainly a microbiological process characterized by the interaction and succession of various groups of microorganisms, whose role in the biooxidation process is essential, and in which the simple compounds of carbon (such as amino acids, soluble sugars, organic acids, among others) are easily metabolized and mineralized by a heterogeneous and heterotrophic microflora, thus high metabolic activity and exothermic

y la desaparición de las levaduras puede estar relacionada con el hecho de que los contenidos de azúcares hayan sido degradados y agotados. Este estudio tuvo la limitación de no estudiar los hongos aerobios, en cuyo caso es probable que se encontrasen levaduras en las etapas finales del proceso de compostaje, lo que sí es interesante señalar es que, en condiciones anaerobias, las levaduras disminuyeron y desaparecieron durante la etapa termófila.

Como podemos observar en la figura 2, la mayor densidad poblacional ocurrió en la fase termófila del proceso de compostaje; en esta etapa hubo mayor actividad metabólica, debido a la abundancia y a la disponibilidad de un sustrato con nutrientes fácilmente asimilables. Esto coincidió y se explica según lo señalado por Paul (2015), Escobar *et al.* (2012) e Insam y De Bertoldi (2007), ya que el compostaje es principalmente un proceso microbiológico caracterizado por la interacción y sucesión de varios grupos de microorganismos, cuyo rol en el proceso de biooxidación es esencial, y en el cual los compuestos de carbono simples (como aminoácidos, azúcares solubles, ácidos orgánicos, entre otros) son fácilmente metabolizados y mineralizados por una microflora heterotrófica y heterogénea, así una alta actividad metabólica y procesos exotérmicos incrementan la temperatura en la masa de compost, lo que representa un fuerte efecto selectivo a favor de pocos organismos aerobios termófilos y productores de esporas.

processes increase the temperature in the compost mass, which represents a strong effect, selective in favor of few aerobic thermophilic organisms and spore producers.

In figure 2, a decrease in the population density of the microorganisms present in both compost (biological stabilization) was clearly observed at the end of the composting process. This final stage began from the third month and was the beginning of a mesophilic (cooling) stage in which the compost reached its biological stability, a stage of approximately two months duration.

In the last stage, in the maturation phase (from the fifth and last month of sampling), the activity and the number of the microorganisms decreased due to the characteristics of the substrate present at that time (poor or scarce in degradable organic compounds), and began its humification process (incipient), which coincides with that indicated by Bernal *et al.* (2017), Moreno and Moral (2008), Lombao *et al.* (2012) and Tiquia (2005), who pointed out that the microbial biomass decreases towards the end of the composting, as the product reaches its maturation, due to the gradual degradation of the most labile molecules, making the total count of microorganisms throughout the process a good test of the state of maturity of the compost.

Bacterial classification by Gram staining. By performing a Gram stain on each bacterial culture that presented morphologically different colonies, the bacterial populations could be grouped based on their

En la figura 2 se observó claramente al final del proceso de compostaje una disminución en la densidad poblacional de los microorganismos presentes en ambos compost (estabilización biológica). Esta etapa final se inició a partir del tercer mes y fue el inicio de una etapa mesófila (de enfriamiento) en la cual el compost alcanzó su estabilidad biológica, etapa de unos dos meses de duración aproximadamente.

En la última etapa, en la fase de maduración (a partir del quinto y último mes de muestreo), la actividad y el número de los microorganismos disminuyó debido a las características del sustrato presente en ese momento (pobre o escaso en compuestos orgánicos degradables), e inició su proceso de humificación (incipiente), lo cual coincide con lo señalado por Bernal *et al.* (2017), Moreno y Moral (2008), Lombao *et al.* (2012) y Tiquia (2005), quienes señalan que la biomasa microbiana decrece hacia el final del compostaje, a medida que el producto alcanza su maduración, debido a la degradación paulatina de las moléculas más lábiles, por lo que el recuento total de microorganismos a lo largo del proceso puede constituir un buen test del estado de maduración del compost.

Clasificación bacteriana por tinción Gram. Al realizarle una tinción Gram a cada cultivo bacteriano que presentaba colonias morfológicamente distintas, se pudieron agrupar las poblaciones bacterianas con base en su morfología (cocos y bacilos) en Gram positivas y Gram negativas, estos resultados se aprecian en las figuras 3 y 4.

morphology (cocci and bacilli) in Gram positives and Gram negatives, these results are seen in Figures 3 and 4.

In these figures, the succession in the bacterial populations present in the compost during the composting process can be observed, with Gram- and Gram+ bacteria predominating at the end of it (their cell walls are more resistant to stress situations, Madigan *et al.*, 1997). These results coincide with that reported by García-Izquierdo and Polo (1999), Moreno and Moral (2008) and Pérez *et al.* (2010), who pointed out that the evolution of temperature with the composting process greatly conditions microbial populations: it increases spores and Gram+ bacteria, conversely inhibiting many other types of bacteria at 55 °C.

Strom (1985), Klammer and Bååth (1998), Boulter *et al.* (2000), Ghazifard *et al.* (2001), Rebollido *et al.* (2008), Moreno and Moral (2008) and Paul (2015) pointed out that, in the analysis of the composting process, the thermophilic community that develops above 50 °C consists of Gram+ bacteria (such as those obtained in the compost studied) mostly from the *Bacillus* genus, a genus well known as dominant in high temperature compost. On the other hand, Puente *et al.* (2009), mentions the genus *Bacillus* as microorganisms that promote plant growth and acts as biocontrollers.

In Figures 3 and 4, it can be observed that between month 2 (M2) and month 3 (M3) -thermophilic phase- the presence of Gram+ aerobic bacilli, a group to which actinobacteria belong (Steger *et al.*, 2005, 2007) and

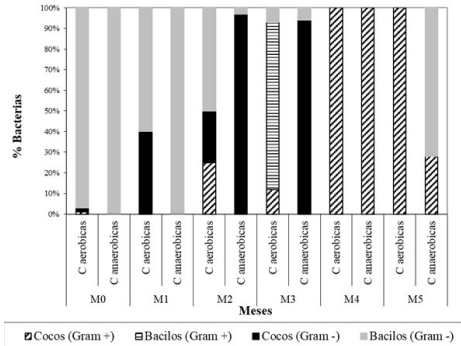


Figura 3. Tipos y cantidades de bacterias de acuerdo a su morfología (cocos y bacilos) y tinción Gram (+ y -), encontradas durante el proceso de elaboración de Compost Comedor (CC).

Figure 3. Types and amounts of bacteria according to their morphology (cocci and bacilli) and Gram staining (+ and -), found during the Compost Comedor (CC) elaboration process.

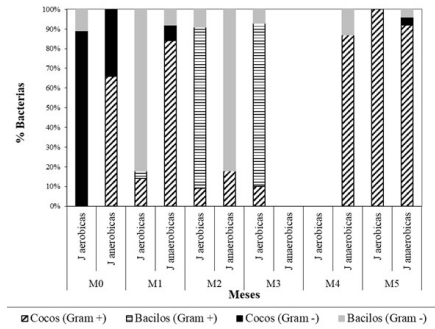


Figura 4. Tipos y cantidades de bacterias de acuerdo a morfología (cocos y bacilos) y tinción Gram (+ y -), encontradas durante el proceso de elaboración de Compost Jardín (CJ).

Figure 4. Types and quantities of bacteria according to morphology (cocci and bacilli) and Gram staining (+ and -), found during the Compost Garden (CJ) elaboration process.

En dichas figuras se pueden observar la sucesión en las poblaciones bacterianas presentes en los compost durante el proceso de compostaje, predominando al inicio bacterias Gram- y Gram+ al final del mismo (sus paredes celulares son más resistentes a las situaciones de estrés, Madigan *et al.*, 1997). Estos resultados coinciden con lo reportado por García-Izquierdo y Polo (1999), Moreno y Moral (2008) y Pérez *et al.* (2010), quienes señalaron que la evolución de la temperatura con el proceso de compostaje condiciona enormemente a las poblaciones microbianas; incrementa las esporas y las bacterias Gram+, inhibiendo por el contrario a otros muchos tipos de bacterias a los 55 °C.

Strom (1985), Klamer y Bååth (1998), Boulter *et al.* (2000), Ghazifard *et al.* (2001), Rebollido *et al.* (2008), Moreno y Moral (2008) y Paul (2015) señalaron que, en el análisis del proceso de compostaje, la comunidad termófila que se desarrolla sobre los 50°C consiste de bacterias Gram+ (como las obtenidas en los compost estudiados) en su mayoría del género *Bacillus*, un género bien conocido como dominante en compost a altas temperaturas. Por otra parte, Puente *et al.* (2009), menciona al género *Bacillus* como microorganismos promotores del crecimiento vegetal y como biocontroladores.

En las figuras 3 y 4, se puede observar entre el mes 2 (M2) y el mes 3 (M3) -fase termófila-, la presencia de bacilos aerobios Gram+, grupo al cual pertenecen las actinobacterias (Steger *et al.*, 2005, 2007) y período en el cual las temperaturas en ambos

the period in which the temperatures in both compost (dining room and garden) were above 50 °C, coinciding with that indicated by Paul (2015) and Cervera *et al.* (2012). Actinobacteria have also been described as colonizers of the rhizosphere, capable of exerting biocontrol on phytopathogenic fungi, promoting nodulation and assisting *Rhizobium* bacteriodes, iron assimilation, nitrogen fixation in legumes, which indirectly contributes to stimulating plant growth (Escobar *et al.*, 2012; Cervera *et al.*, 2012; van Elsas and Postma, 2007).

During the composting process, the presence of white spots inside the composting piles was observed after the first month; this coincides with Menoyo (1995), who in a study on composting reported the visual appreciation of white spots possibly corresponding to fungal colonies, which generally began to appear during the thermophilic phase. On the other hand, Boulter *et al.* (2000) pointed out that actinobacteria can be seen as a white film on the surface of organic matter, at the end of the composting process.

We must also consider the possible appearance of Gram negative bacilli during the cooling phase, where *Pseudomonas* are found, reported by Pérez *et al.* (2015) as opportunistic pathogens in crops of economic importance such as tomato (*Solanum lycopersicum* L.) in Saudi Arabia and broccoli (*Brassica oleracea* L.) in China; which can represent a serious risk to the sanitary quality of the final product destined for agronomic use (Hassen *et al.*, 2001).

compost (comedor y jardín) estuvieron por encima de 50°C, coincidiendo con lo señalado por Paul (2015) y Cervera *et al.* (2012). Las actinobacterias, también han sido descritas como colonizadoras de la rizósfera, capaces de ejercer biocontrol, sobre hongos fitopatógenos, promover la nodulación y ayudar a los bacteriodes de *Rhizobium*, a la asimilación del hierro, en la fijación de nitrógeno, en leguminosas, lo cual contribuye, indirectamente, a estimular el crecimiento vegetal (Escobar *et al.*, 2012; Cervera *et al.*, 2012; van Elsas y Postma, 2007).

Durante el proceso de compostaje, se apreció luego del primer mes la presencia de manchas blancas en el interior de las pilas de compostaje; esto coincide con Menoyo (1995), quien en un estudio sobre compostaje reportó la apreciación visual de manchas blancas correspondientes posiblemente a colonias de hongos, las cuales generalmente comenzaban a aparecer durante la fase termófila. Por otra parte, Boulter *et al.* (2000) señalaron que las actinobacterias pueden ser vistas como una película blanca en la superficie de la materia orgánica, al final del proceso de compostaje.

También hay que considerar la posible aparición de bacilos Gram negativos durante la fase de enfriamiento, donde se encuentran las *Pseudomonas*, reportadas por Pérez *et al.* (2015) como patógenos oportunistas en cultivos de importancia económica como el tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en Arabia Saudita y el brócoli (*Brassica oleracea* L.) en China; lo que

However, Pérez *et al.* (2015) also refer to this bacterial genus (*Pseudomonas*) as an excellent example of the combination of multiple mechanisms through which it exerts effective biological control, including direct antagonism and induction of resistance in the plant.

Phytotoxicity determination.

Figure 5 shows the *in vitro* phytotoxicity test, which combines germination and elongation of the root of lettuce seeds (*Lactuca sativa*); it constitutes a valuable tool to evaluate the composting process in the different phases (decomposition, stabilization and curing) and is expressed as a germination index (in percentage units; % IG).

Figure 5 shows that the dining room and garden compost were free of phytotoxic substances after 50 days of the composting process, coinciding with Zucconi *et al.* (1981), Alburquerque *et al.* (2006), Riffaldi *et al.* (1986) and Gao *et al.* (2010), regarding that phytotoxicity during composting, seem to be strictly associated with the initial decomposition stage where toxic concentrations of ammonia, soluble salts and short-chain organic substances such as acetic, propionic, butyric and valeric acids are produced. These authors observed a rapid growth of the germination index after 40 days and stabilizes at the end of the composting period. Other authors such as Tiquia (2010) and Gómez-Brandón *et al.* (2007) indicate that ammonium ion and

puede representar un grave riesgo para la calidad sanitaria del producto final destinado a la reutilización agronómica (Hassen *et al.*, 2001).

certain soluble heavy metals such as zinc and copper have a negative impact on seed germination when composting pig and beef manure,

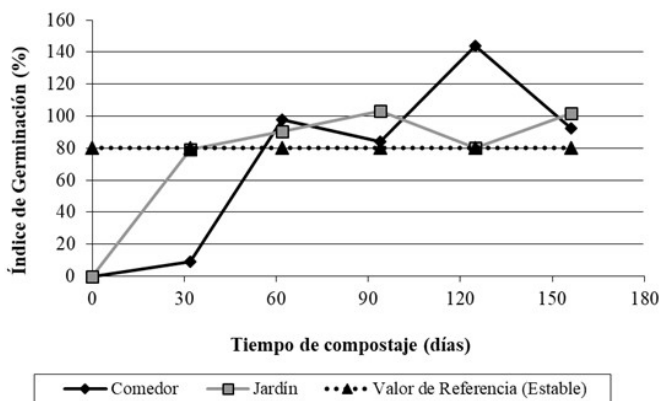


Figura 5. Índice de Germinación (IG) para los compost estudiados (Comedor y Jardín) durante el proceso de compostaje (150 días).

Figure 5. Germination Index (GI) for the studied compost (Canteen and Garden) during the composting process (150 days).

Sin embargo, Pérez *et al.* (2015) también hacen referencia a que este género bacteriano (*Pseudomonas*) constituye un excelente ejemplo de la combinación de múltiples mecanismos a través de los cuales ejerce un efectivo control biológico, incluyendo el antagonismo directo y la inducción de resistencia en la planta.

Determinación de Fitotoxicidad.

En la figura 5 se muestra el test *in vitro* de fitotoxicidad, el cual combina la germinación y la elongación de la raíz de semillas de lechuga (*Lactuca sativa*); constituye una herramienta

respectively. Furthermore, these authors suggest composting times greater than 130 days.

According to what was outlined by Zucconi *et al.* (1981) and Thompson *et al.* (2001) our compost could be considered as mature since the germination index (GI) \geq 80 % at the end of the process.

Conclusions

Temperature is a good indicator of the evolution of composting process, being closely associated with biological activity indicating

valiosa para evaluar el proceso de compostaje en las diferentes fases (descomposición, estabilización y curado) y se expresa como índice de germinación (en unidades de porcentaje; % IG).

En la figura 5 se aprecia que los compost de comedor y jardín estuvieron libres de sustancias fitotóxicas a partir de los 50 días del proceso de compostaje, coincidiendo con lo citado por Zucconi *et al.* (1981), Alburquerque *et al.* (2006), Riffaldi *et al.* (1986) y Gao *et al.* (2010), en lo relacionado a que evaluaciones de fitotoxicidad durante el compostaje, parecen estar estrictamente asociadas a la etapa inicial de descomposición donde se producen concentraciones tóxicas de amonio, sales solubles y sustancias orgánicas de cadena corta como los ácidos acético, propiónico, butírico y valérico. Estos autores observaron un rápido crecimiento del índice de germinación después de los 40 días y se estabiliza al final del período de compostaje. Otros autores como Tiquia (2010) y Gómez-Brandón *et al.* (2007) indican que el ión amonio y ciertos metales pesados solubles como zinc y cobre tienen un impacto negativo sobre la germinación de las semillas al compostar estiércol de cochino y vacuno, respectivamente. Además, estos autores sugieren tiempos de compostaje mayores de 130 días.

De acuerdo a lo reseñado por Zucconi *et al.* (1981) y Thompson *et al.* (2001) nuestros compost se podrían considerar como maduros ya que el índice de germinación (IG) ≥ 80 % al final del proceso.

the stages of the process: mesophilic, thermophilic, mesophilic and cooling. This condition allows defining the characteristics of the compost microorganisms, as well as the stability and maturity once the compost reaches room temperature at the end of the process.

The microbial count allowed evaluating the stability of the compost, since by decreasing the CFU amount at final stage of the process, it was shown that it was biologically stabilized.

The bacterial classification by Gram staining is a good indicator of the successions that occur in the composting process and useful to help the classification of microorganisms present.

The phytotoxicity test corroborated that the studied compost reached a level of maturity and stability, important conditions for determining the quality of a compost.

Acknowledgment

The authors express their gratitude to the Laboratorio de Ecología de Suelos del Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC), the Nursery El Horticultor, and to Universidad Simón Bolívar (USB).

End of English Version

Conclusiones

La temperatura representó un buen indicador de la evolución del proceso de compostaje, al estar

íntimamente asociado con la actividad biológica indicando las etapas del proceso: mesófila, termófila, mesófila y de enfriamiento. Esta condición permite definir las características de los microorganismos del compost, así como la estabilidad y la madurez una vez que el compost alcanzó la temperatura ambiente al final del proceso.

El conteo microbiano permitió evaluar la estabilidad del compost, ya que al disminuir la cantidad de UFC en la etapa final del proceso se demostró que estaba biológicamente estabilizado.

La clasificación bacteriana por tinción Gram, resultó ser un buen indicador de las sucesiones que ocurren en el proceso de compostaje y útil para ayudar a la clasificación de los microorganismos presentes.

El test de fitotoxicidad permitió corroborar que los compost estudiados alcanzaron un nivel de madurez y estabilidad, condiciones importantes para la determinación de la calidad de un compost.

Agradecimientos

Los autores expresan su agradecimiento al Laboratorio de Ecología de Suelos del Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC), al Vivero El Horticultor, y a la Universidad Simón Bolívar (USB).

Literatura citada

Acosta, Y.; J. Paolini y E. Benitez. 2004. Índice de humificación y prueba de

toxicidad de residuos orgánicos de uso agrícola potencial. Rev. Fac. Agron. (LUZ). 21:385-397.

Albuquerque, J. A.; J. González; D. García and J. Cegarra. 2006. Measuring detoxification and maturity in compost made from "alperujo", the solid by-product of extracting olive oil by the two-phase centrifugation system. *Chemosphere*. 64(3): 470-476. Available in: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2005.10.055>.

Avnimelech, Y.; R. Eilat; Y. Porat and P. A. Kottas. 2004. Factors affecting the rate of windrow composting in field studies. *Compost Sci. Util.* 12(2):114-118. Available in: <https://doi.org/10.1080/1065657x.2004.10702169>

Bernal, M. P.; S. Sommer; D. Chadwick; C. Qing; L. Guoxue and F. C. Michel Jr. 2017. Current approaches and future trends in compost quality criteria for agronomic, environmental, and human health benefits. *Adv. Agron.* 144: 143-233. Available in: <http://dx.doi.org/10.1016/bs.agron.2017.03.002>

Boulter, J.; G. Boland and J. Trevors. 2000. Compost: A study of the development process and endproduct potential for suppression of turfgrass disease. *World J. Microbiol. Biotechnol.* 16(2):115-134. Available in: <https://doi.org/10.1023/a:1008901420646>.

Cervera, O.; M. Vargas; F. Suárez; M. López; J. López; M. Jurado y J. Moreno. 2012. Evolución de las poblaciones microbianas en el compostaje: Actinobacterias. p. 313-325. En: Barral, M., M. Díaz-Raviña, R. Devesa-Rey y R. Paradelo, R. (Eds.). Avances en la investigación sobre compost. Materias primas, procesos, calidad y usos. III Jornadas de la Red Española de Compostaje (REC). Andavira Editora, S. L. Santiago de Compostela, España.

Ceustermans, A.; J. Coosemansand and J. Ryckeboer. 2010. Compost microbial activity related to compost stability. p. 115-134. En: H. Insam, I. Franke-Whittle and M. Goberna (Eds.) *Microbes at work*. Springer Verlag,

- Berlin. Available in: https://doi.org/10.1007/978-3-642-04043-6_6.
- Clifford, R. y R. Taylor. 2008. Biostatística. Ediciones Pearson Educación. Ciudad de México, México. 538 p.
- Cooperband, L. R.; A. G. Stone; M. R. Frydaand and J. L. Ravel. 2003. Relating compost measures of stability and maturity to plant growth. *Compost Sci. Util.* 11(2):113-124. Available in: <https://doi.org/10.1080/1065657x.2003.10702118>.
- Corlay, L; R. Ferrera-Cerrato; J. Etchevers; A. Echegaray y J. Santizo. 1999. Cinética de grupos microbianos en el proceso de producción de composta y vermicomposta. *Agrociencia (México)*, 33(4): 375-380.
- De Bertoldi, M.; G. Valliniand and A. Pera. 1983. The biology of composting: a review. *Waste Manage. Res.* 1: 157-176. Available in: [https://doi.org/10.1016/0734-242x\(83\)90055-1](https://doi.org/10.1016/0734-242x(83)90055-1)
- Departamento de Agricultura de la DGA (Diputación General de Aragón). 2001. Producción y gestión del compost. Segunda Edición. En: *Informaciones Técnicas N° 88*. Dirección General de Tecnología Agraria. Servicio de Formación y Extensión Agraria. Centro de Técnicas Agrarias. Departamento de Agricultura. Gobierno de Aragón. Zaragoza, España. 32 p. Available in: http://bibliotecavirtual.aragon.es/bva/i18n/catalogo_imagenes/grupo.cmd?path=3705249.
- Escobar, N.; J. Mora y N. Romero. 2012. Identificación de poblaciones microbianas en compost de residuos orgánicos de fincas cafeteras de Cundinamarca. *Boletín Científico. Centro de Museos. Museo de Historia Natural. Universidad de Caldas, Manizales (Colombia)* 16(1): 75-88.
- Gao, M.; F. Liang; A. Yu; B. Li and L. Yang. 2010. Evaluation of stability and maturity during forced-aeration composting of chicken manure and sawdust at different C/N ratios. *Chemosphere.* 78(5): 614-619. Available in: [doi:10.1016/j.chemosphere.2009.10.056](https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2009.10.056)
- García, D.; L. Lima; L. Ruíz y P. Calderón. 2014. Métodos y parámetros para determinar la madurez en el compost a nivel de fincas. *Cub@: Medio Ambiente y Desarrollo*. Revista electrónica de la Agencia de Medio Ambiente. Año 14. N° 26. 11 p.
- García-Izquierdo, C. y A. Polo. 1999. Estudio de parámetros bioquímicos en procesos de estabilización de residuos orgánicos urbanos. *Residuos* 51:76-81.
- Gebeyehu, R. and M. Kibret. 2013. Microbiological and physico-chemical analysis of compost and its effect on the yield of kale (*Brassica oleracea*) in Bahir Dar, Ethiopia. *EJST.* 6(2): 93-102.
- Ghazifard, A.; R. Kasma-Kermanshahiand and Z. Far. 2001. Identification of thermophilic and mesophilic bacteria and fungi in Esfahan (Iran) municipal solid waste compost. *Waste Manage. Res.* 19(3): 257-261. Available in: [doi:10.1177/0734242x0101900307](https://doi.org/10.1177/0734242x0101900307).
- Golueke, C. G. 1982. When is compost "safe"? *Biocycle.* 23(2): 28-38.
- Gómez-Brandon, M.; C. Lazcano and J. Domínguez. 2007. The evaluation of stability and maturity during the composting of cattle manure. *Chemosphere.* 70(3): 436-444. Available in: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2007.06.065>.
- Hassen, A.; K. Belguith; N. Jedidi; A. Cherif; M. Cherifand and A. Boudabous. 2001. Microbial characterization during composting of municipal solid waste. *Bioresour. Technol.* 80(3): 217-225. Available in: [https://doi.org/10.1016/s0960-8524\(01\)00065-7](https://doi.org/10.1016/s0960-8524(01)00065-7)
- Insam, H. and M. De Bertoldi. 2007. Microbiology of composting process. P. 25-48. En: L.F. Diaz, M. De Bertoldi, W. Bidlingmaier y E. Stentiford (Eds.). *Compost Science and Technology. Waste Management. Series, N° 8*. Amsterdam, The Netherlands. Available in: [https://doi.org/10.1016/s1478-7482\(07\)80006-6](https://doi.org/10.1016/s1478-7482(07)80006-6).
- Klamer, M. and E. Bååth. 1998. Microbial community dynamics during

- composting of straw material studied using phospholipid fatty acid analysis. *FEMS Microbiol. Ecol.* 27(1): 9-20. Available in: [https://doi.org/10.1016/s0168-6496\(98\)00051-8](https://doi.org/10.1016/s0168-6496(98)00051-8).
- Kumar, S. 2010. Composting of municipal solid waste. *Crit. Rev. Biotechnol.* 31(2): 112–136. Available in: doi:10.3109/07388551.2010.492207.
- Lombao, A.; A. Barreiro; M. Fernández-Gómez; E. Romero; R. Nogales y M. Díaz-Raviña. 2012. Caracterización de la comunidad microbiana de diversos suelos y residuos no compostados y vermicompostados. p. 303-312. En: Barral, M., M. Díaz-Raviña, R. Devesa-Rey y R. Paradelo (Eds.). Avances en la investigación sobre compost. Materias primas, procesos, calidad y usos. III Jornadas de la Red Española de Compostaje (REC). Andavira Editora, S. L. Santiago de Compostela, España.
- Madigan, M. T.; J. M. Martinko y J. Parker. 1997. Brock. *Biología de los microorganismos*. Octava edición. Editorial Prentice Hall. Madrid, España. 986 p.
- Manual de Laboratorio de Microbiología Ambiental BC-6384. 1999. Departamento de Biología Celular. División de Ciencias Biológicas. Universidad Simón Bolívar. Coordinadores de la edición: Rocha, C., C. Sajo, M. Rodríguez y J. Gonçalves. Mimeografiado. 76 p.
- Menoyo, A. 1995. Valorización agronómica de la gallinaza. Compostaje. Tesis Doctoral. Universidad del País Vasco. Facultad de Ciencias (Sección de Químicas), Departamento de Química Analítica. Bilbao. 325 p.
- Moreno, J. y R. Moral. 2008. Compostaje, Bloque 1. Tratamiento y gestión de los residuos orgánicos. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España.
- Partanen, P.; J. Hultman; L. Paulin; P. Auvinen and M. Romanschuk. 2010. Bacterial diversity at different stages of the composting processes. *BMC Microbiol.* 10:94. Available in: <https://doi.org/10.1186/1471-2180-10-94>.
- Paul, E. 2015. Soil microbiology, ecology and biochemistry. Fourth Edition. Academic Press. London, UK. 582 p.
- Pérez, R.; A. Pérez y M. Vertel. 2010. Caracterización nutricional, fisicoquímica y microbiológica de tres abonos orgánicos para uso de agroecosistemas de pasturas en la subregión sabanas del departamento de Sucre. Colombia. *Revista Tumbaga.* 5(1):27-37.
- Pérez, S.; O. Coto; M. Echemendía y G. Ávila. 2015. *Pseudomonas fluorescens* Migula, ¿control biológico o patógeno?. *Rev. Protección Veg.* 30(3): 225-234.
- Puente, M.; J. García; E. Rubio y A. Peticari. 2009. Microorganismos promotores del crecimiento vegetal empleados como inoculantes en trigo. *Revista Horizonte A. Magazine de las Ciencias Agrarias.* 6(23):14-17.
- Rebollido, R.; J. Martínez; Y. Aguilera; K. Melchor; I. Koerner and R. Stegmann. 2008. Microbial populations during composting process of organic fraction of municipal solid waste. *Appl. Ecol. Environ. Res.* 6(3): 61-67. Available in: https://doi.org/10.15666/aer/0603_061067.
- Richard, T. and N. Trautmann. 2002. C/N Ratio. Available in: http://www.cfe.cornell.edu/compost/_calc/cn_ratio.html. Consultation date: el 08 de mayo de 2002. Riffaldi, R.; R. Levi-Minzi; A.
- Pera and M. De Bertoldi. 1986. Evaluation of compost maturity by means of chemical and microbial analyses. *Waste Manage. Res.* 4(1): 387-396. Available in: doi:10.1177/0734242x8600400157
- Rivero, C. 1999. Materia orgánica del suelo. *Revista Facultad de Agronomía (Maracay).* Alcance 57:212 p.
- Román, P.; M. Martínez y A. Pantoja. 2013. Manual de Compostaje del Agricultor, Experiencias en América Latina. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), Oficina Regional para América Latina y el Caribe. Santiago de Chile, Chile. 112 p. Ryckeboer, J.; J. Mergaert; J.




- Coosemans; K. Deprintsand and J. Swings. 2003. Microbiological aspects of biowaste during composting in a monitored compost bin. *J. Appl. Microbiol.* 94(1): 127-137. Available in: <https://doi.org/10.1046/j.1365-2672.2003.01800.x>.
- Satoshi, F. 2013. Resíduos orgânicos e solos. Formulação, índices de maduração de substratos e compostos orgânicos voláteis alvos. Tese Doutorado apresentada à Universidade Federal de Lavras, Programa Pós-Graduação em Ciência do Solo. Minas Gerais. Brasil. 146 p.
- Steger, K.; A. Jarvis; T. Vasara; M. Romantschuk and I. Sundh. 2007. Effects of different temperature management on development of Actinobacteria populations during composting. *Res. Microbiol.* 158(7): 617-624. Available in: <https://doi.org/10.1016/j.resmic.2007.05.006>.
- Steger, K.; Y. Eklind; J. Olsson and I. Sundh. 2005. Microbial community growth and utilization of carbon constituents during thermophilic composting at different oxygen levels. *Microb. Ecol.* 50(2): 163-171. Available in: <https://doi.org/10.1007/s00248-004-0139-y>
- Stentiford, E. I. 1996. Composting control: principles and practice. p. 49-59. En: M. De Bertoldi, P. Sequi, B. Lemmes y T. Papi (Eds.), *The Science of Composting. Part I.* Chapman and Hall, London, UK.
- Strom, P. F. 1985. Identification of thermophilic bacteria in solid-waste composting. *Appl. Environ. Microbiol.* 50(4): 906-913.
- Thompson, W.; P. Leege; P. Millner and M. Watson. 2001. Test Methods for the Examination of Compost and Compost (TMECC). Prepared for: the U.S. Composting Council Research and Education Foundation (USCCREF) and U.S. Department of Agriculture (USDA).
- Tiquia, S. M. 2010. Reduction of compost phytotoxicity during the process of decomposition. *Chemosphere* 79: 506-512. Available in: <https://doi:10.1016/j.chemosphere.2010.02.040>.
- Tiquia, S.M. 2005. Microbiological parameters as indicators of compost maturity. *J. Appl. Microbiol.* 99: 816-828. Available in: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2005.02673.x>.
- Trautmann, N. and M. Krasny. 1998. Composting in the classroom: Scientific Inquiry for High School Students. Kendall/ Hunt Publishing Company, Dubuque, Iowa, USA. 116 p.
- van Elsas, J. D. and J. Postma. 2007. Suppression of soil-borne phytopathogens by compost. p. 201-214. En: L.F. Diaz, M. De Bertoldi, W. Bidlingmaier y E. Stentiford (Eds.) *Compost Science and Technology. Waste Management Series, N° 8.* Amsterdam, The Netherlands.
- Zucconi, F.; A. Pera; M. Forte and M. De Bertoldi. 1981. Evaluating toxicity of immature compost. *BioCycle.* 22:54-57.

Dimensionamiento de terrazas con el software *Terraço 4.1* en una zona agrícola de Brasil

Dimensioning of terraces with the *Terraço 4.1* software
in an agricultural area of Brazil

Dimensionamento de terraços com o software *Terraço 4.1*
em uma área agrícola do Brasil.

Jasmine Alves Campos^{1*}, Uilson Ricardo Venâncio Aires²,
Rubens Junqueira³

¹Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Engenharia Agrícola, Viçosa, Minas Gerais, Brasil 36570-000. Correo electrónico: jasmine.campos@ufv.br, . ²Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Engenharia Agrícola, Viçosa, Minas Gerais, Brasil 36570-000. Correo electrónico: uilson.aires@ufv.br, . ³Universidade Federal de Lavras, Departamento de Recursos Hídricos e Saneamento, Lavras, Minas Gerais, Brasil 36570-000. Correo electrónico: rubensj93@gmail.com, .

Resumen

La utilización de técnicas de dimensionamiento y marcación de terrazas es fundamental para auxiliar en el control de los procesos erosivos. En este sentido, el objetivo del trabajo fue realizar el dimensionamiento y la marcación de un sistema de terrazas agrícolas, analizando dos situaciones: la construcción de terrazas a nivel y de terrazas en gradiente con el apoyo del software *Terraço 4.1*. El software necesita información de precipitación, canal de desagüe, información de terreno, espaciamiento y característica del suelo. Se verificó que es necesaria la implementación de 10 terrazas a nivel o terrazas en gradiente. Siendo que, para la implementación de las terrazas en gradiente, se dimensionó un canal de desagüe en formato triangular, con base en el volumen de escurrimiento superficial. La utilización del software se mostró como una herramienta de gran ayuda de la planificación de sistemas agrícolas.

Palabras clave: preservación del suelo y agua, erosión hídrica, software libre.

Recibido el 08-06-2019 • Aceptado el 01-07-2020.

*Autor de correspondencia. Correo electrónico: jasmine.campos@ufv.br

Abstract

The use of techniques to size and implement terraces are fundamental to help in the control of erosive processes. Thus, this work aimed to perform the dimensioning and implementation of agricultural terraces, analyzing the situations: the construction of terraces in level and terraces in gradient with the support of the software *Terraço* 4.1. The input data of the software includes: rainfall, drainage channel, terrain information, soil properties. It was verified that it is necessary to implement ten terraces in level or terraces gradient. For the implementation of gradient terraces, a drainage channel was designed in a triangular format, based on the volume of terraces surface runoff estimated. The use of the software proved to be a very helpful tool in planning agricultural systems.

Key word: soil and water preservation, water erosion, software open source.

Resumo

O uso de técnicas para dimensionar e implementar terraços é fundamental para auxiliar no controle de processos erosivos. Desta forma, este trabalho teve como objetivo realizar o dimensionamento e implantação de terraços agrícolas, analisando as situações: construção de terraços em nível e terraços em gradiente com o apoio do software *Terraço* 4.1. Os dados de entrada do software incluem: precipitação, canal de drenagem, informações sobre o terreno e propriedades do solo. Verificou-se que é necessário implementar dez terraços em nível ou em gradiente na área. Para a implementação dos terraços em gradientes, um canal de drenagem foi projetado em formato triangular, com base no volume escoamento superficial estimado para os terraços. O uso do software provou ser uma ferramenta muito útil no planejamento de sistemas agrícolas.

Palavras-chave: conservação de solo e água, erosão hídrica, software livre.

Introducción

Los procesos erosivos constituyen uno de los principales factores responsables de la degradación de los suelos. En regiones tropicales este proceso ocurre de forma más acelerada debido a prácticas agrícolas realizadas de manera inadecuada y la ausencia de medidas de conservación del suelo (Didoné *et al.*, 2017).

Introduction

Erosive processes are greatly responsible for soil degradation. In tropical regions, this process occurs more intense due to climatic dynamic and agricultural practices without soil conservation measures (Didoné *et al.*, 2017).

Erosion can reduce soil fertility, which affects water quality due to the

La erosión puede causar la reducción de la fertilidad del suelo, limitando la capacidad de producción agrícola, además de afectar la calidad de las aguas debido al transporte de plaguicidas y fertilizantes agrícolas. Esto aumenta los costos de la producción y por ende disminuye los beneficios de los agricultores (Pruski *et al.*, 2009).

En este sentido, las terrazas agrícolas pueden producir diversos beneficios, incluyendo la mejora de la infiltración y la retención de agua en el suelo. Sin embargo, los costos de la construcción y el mantenimiento de un sistema de terraza son elevados (Griebeler *et al.*, 2000). De esta forma, es importante establecer las dimensiones adecuadas de las terrazas, a fin de garantizar el correcto funcionamiento del sistema (Pruski *et al.*, 2009).

Modelos físico-matemáticos de control de la erosión hídrica, como el software *Terraço 4.1*, han sido utilizados para el dimensionamiento de terrazas (GPRH, 2020). En este sentido, el objetivo del presente trabajo fue realizar el dimensionamiento y la marcación de un sistema de terrazas agrícolas, analizando dos situaciones: la construcción de terrazas a nivel y de terrazas en gradiente con el apoyo del software *Terraço 4.1*.

Materiales y métodos

La zona de estudio está ubicada en una propiedad agrícola en el municipio de Piracicaba, São Paulo (SP), Brasil, como se indica en la figura 1, y presenta 58,22 ha destinadas al cultivo de la

transport of agricultural pesticides and fertilizers into the watercourses and decreases agricultural production capacity. This increases production costs, affecting sustainability of agricultural activity (Pruski *et al.*, 2009).

In this sense, agricultural terraces can provide several benefits, including improvement of water infiltration and retention in the soil. However, the construction and maintenance costs of a terrace system are high (Griebeler *et al.*, 2000). Thus, it is important to establish the appropriate dimensions of the terraces, in order to guarantee the correct operation of the system (Pruski *et al.*, 2009).

Several physic-mathematical models for water erosion control, such as *Terraço 4.1* software, have been used to sizing terraces (GPRH, 2020). Thus, this work aimed to perform the dimensioning and implementation of agricultural terraces, analyzing the situations: the construction of terraces in level and terraces in gradient with the support of software *Terraço 4.1*.

Materials and methods

The study area is located on an agricultural property in the municipality of Piracicaba, São Paulo (SP), Brazil, as presented in figure 1, and it has 58.22 ha used to the cultivation of sugar cane. According to the soil map of Brazil, its area is composed of red yellow argisol (PVA) in the Brazilian Soil Classification System (EMBRAPA, 2011).

The study area is located in a region with a high propensity for laminar

caña de azúcar. Está compuesta por un suelo Argisol Rojo Amarillo (PVA), según el mapa de suelos de Brasil, elaborado por EMBRAPA (2011).

El terreno se encuentra situado en una región con alta propensión a la erosión laminar en el estado de SP (Kertzman, 1995) y presenta condiciones representativas del tipo de suelo y de las prácticas de manejo en las que se encuentra el cultivo de la caña de azúcar en el estado (Weill y Sparovek, 2008).

erosion in the state of São Paulo (Kertzman, 1995) and representative conditions of soil type and agricultural management practices in which the cultivation of sugar cane is found in most of the state (Weill and Sparovek, 2008).

It was used Terraço 4.1 software, developed by the Research Group on Water Resources (GPRH) of the Universidade Federal de Viçosa and freely available (GPRH, 2020). The software uses five parameters:

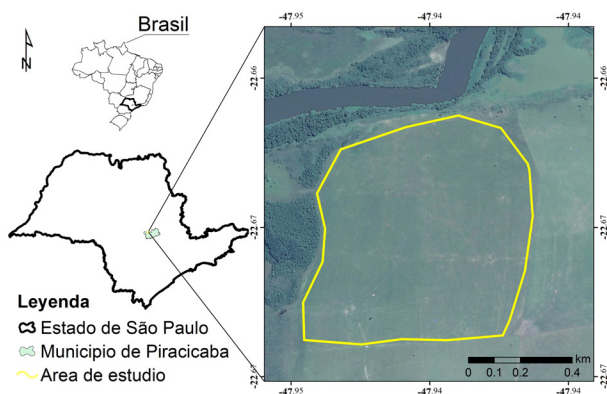


Figura 1. Ubicación del área de estudio.

Figure 1. Location of the study area.

Se utilizó el software *Terraço* 4.1, desarrollado por el Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos (GPRH) de la Universidade Federal de Viçosa y disponible de forma gratuita (GPRH, 2020). El software utiliza cinco parámetros: datos de precipitación, canal de desagüe, información de terreno, espaciamiento y características del suelo.

El módulo “Precipitação” requiere información de los parámetros de la

rainfall data, drainage channel, terrain information, spacing, and soil characteristics.

The “Precipitação” module requires information on the intense rainfall equation (IDF) parameters using a return period (TR) of 15 years, recommended for terraces projects. The IDF parameters were obtained using *Pluvio* 2.1 software (GPRH, 2020), whose rain gauge station is located in the municipality of

ecuación de lluvias intensas (IDF), utilizando tiempo de retorno (TR) de 15 años, recomendado para proyectos de terrazas. Los parámetros de la IDF fueron obtenidos por el software *Pluvio 2.1* (GPRH, 2020), cuya estación pluviométrica está localizada en el municipio de Piracicaba. El módulo “Precipitação” también permite el registro manual de esta información, posibilitando su utilización para cualquier región en la que se conocen los parámetros de la ecuación.

El módulo “Canal” se utiliza para el dimensionamiento de los canales en las terrazas a nivel en el que se requiere la información de: pendiente del terreno (St) en mm^{-1} y pendiente de la pared de la terraza (Sm) en mm^{-1} . El parámetro Sm se genera con base en el tipo de terraza a ser dimensionada y al implemento agrícola utilizado, disponible en el propio software. Para los canales en terraza con gradiente son necesarios los parámetros: longitud del canal, pendiente del canal, rugosidad del canal, St y Sm . El parámetro rugosidad adoptado fue de 0,018 (Chow, 1986).

En el módulo “Terreno”, en las terrazas a nivel se requiere la información de la pendiente del área en $m.m^{-1}$. Para el dimensionamiento de la terraza en gradiente, además de esta información, se necesita la rugosidad del terreno. En este estudio se adoptó la rugosidad igual a 0,12, referente a la cobertura con caña de azúcar.

En el módulo “Espaçamento”, se determinan los espaciamientos vertical y horizontal de las terrazas, según la metodología propuesta

Piracicaba. The “Precipitação” module also allows manual recording of this information, enabling to use Terraço 4.1 software for any region where the parameters of the IDF equation are known.

The “Canal” module is used for the dimensioning of the channels in level type terraces. The following information is required: the slope of the terrain (St) in $m.m^{-1}$ and the slope of the terrace wall (Sm) in $m.m^{-1}$. The Sm parameter is generated based on the type of terrace to be dimensioned and the agricultural implements used, available in the software itself. For terrace channels with a gradient, the following parameters are necessary: channel length, channel slope, channel roughness, St , and Sm . The adopted roughness parameter was 0.018 (Chow, 1986).

In the “Terreno” module, on the level type terraces, the information on the slope of the area in $m.m^{-1}$ is required. For the sizing of the gradient type terrace, in addition to this information, the roughness of the terrain is required. In this study, the roughness of 0.12 was adopted, referring to the vegetal cover composed by sugar cane.

In the “Espaçamento” module, the vertical and horizontal spacings of the terraces are determined, according to the methodology proposed by Lombardi *et al.* (1994). This methodology can be selected in the software itself, which defines the resistance to soil erosion. The study area was classified in the moderate group due to its type of soil (red yellow argisol). Also, the use of a disc harrow was included as primary preparation of the soil, and chain

por Lombardi *et al.* (1994). Esta metodología puede seleccionarse en el propio software, en el que se define la resistencia a la erosión del suelo, en este sentido enmarcada en el grupo moderado (Argisol Rojo Amarillo). Además, se incluyó como preparación primaria la utilización de rejilla aradora, y preparación secundaria, la rejilla niveladora de la plantación de la caña de azúcar.

En el módulo “Solo”, la información de suelo requerida por el software se refiere a la tasa de infiltración estable (Tie). Para el área de estudio, se adoptó el valor de 24 mm.h⁻¹, referente al Argisol Rojo Amarillo presente en el área. Con base a la información de precipitación y la tasa de infiltración del agua en el suelo, el software Terraço 4.1 realiza una estimación de la lámina de escurrimiento superficial (Es), que se basa en la metodología propuesta por Pruski *et al.* (1997).

En el módulo para marcación de terrazas del software se requiere la información adicional de: el tipo de terraza e información de la altitud y la pendiente de la localidad. El tipo de terraza se registra en el módulo “tipo de terraço”, que presenta diversas opciones con metodologías diferentes para la construcción de la terraza con base en la pendiente del área. En este estudio se utilizó la metodología propuesta por Lombardi *et al.* (1994), referente a la terraza con base ancha.

La información de terreno requerida por el Terraço 4.1 se registra en el módulo “terreno” y consiste en el Modelo Digital de Elevación (MDE) y la pendiente. El MDE fue obtenido a través del proyecto SRTM, con 30

harrow as a secondary preparation for the sugar cane cultivation.

In the “Solo” module, the soil information required by the software refers to the stable infiltration rate (Tie). For the study area was adopted the value of 24 mm.h⁻¹, referring to the red yellow argisol present in the study area. Based on the rainfall information and the water infiltration rate in the soil, Terraço 4.1 software performs an estimation of the surface runoff (Es), which is based on the methodology proposed by Pruski *et al.* (1997).

In the “Locação de Terraços” module of the software, additional information is required to the implementation of the terraces, which are: the type of terrace and information on the elevation and slope of the area. The type of terrace is registered in the module “Tipos de Terraços”, which presents several options with different methodologies for the construction of the terrace based on the slope of the area. In this study, the methodology proposed by Lombardi *et al.* (1994) was used, referring to the terrace with a wide base.

The terrain information required by Terraço 4.1 is required in the “Terreno” module and consists of the digital elevation model (DEM) and the slope. The DEM was obtained through the SRTM project, with 30 meters of spatial resolution. It was necessary to interpolate the elevation values of the DEM, using the spline method, to obtain the elevation and slope maps with a spatial resolution of 1 m and converted then to the float format.

The dimensions of the drainage channel were calculated using the

metros de resolución espacial. Fue necesario interpolar los valores de altitud en el MDE, utilizando el método spline, para la obtención final de los mapas de elevación y pendiente con resolución espacial de 1 m, y convertidos al formato float.

Al final, la determinación de las dimensiones del canal de desagüe se realizó utilizando el software Canal (GPRH, 2020). La información de entrada en el software Canal, requiere datos referentes al tipo de canal, longitud, pendiente, caudal, holgura, inclinación del talud, anchura de la base, profundidad y coeficiente de rugosidad.

Resultados y discusión

El área de estudio presenta pendiente relativamente baja, con un valor promedio del 4,3 % y pendiente máxima del 18,6 %. La pendiente del área es el principal factor a ser considerado para la elección del tipo de terraza y la faja de movimiento de tierras. Como el terreno presenta pendiente suave, se optó por el dimensionamiento de la terraza de base ancha, con un ancho en el rango de 6 a 12 metros, lo que hace posible establecer el cultivo en toda su superficie y por ser de fácil mantenimiento (Pruski *et al.*, 2009).

Los resultados obtenidos referentes al dimensionamiento y la marcación de las terrazas a nivel se presentan en la figura 2. En la figura 2(a) las terrazas fueron dimensionadas considerando el resultado obtenido en el software sin adecuaciones. En la figura 2 (b) las terrazas se han redimensionado, a fin

Canal software (GPRH, 2020). The input information in the Canal software requires data regarding the type of channel, length, slope, runoff, safety clearance, talus inclination, base width, depth, and roughness coefficient.

Results and discussion

The study area presents a low slope, with an average value of 4.3 % and a maximum value of 18.6 %. The slope of the area is the main factor to be considered for choosing the type of terrace and its base. As the terrain presents a low slope, a wide base terrace was used to sizing the terraces, with a width ranging from 6 to 12 meters, allowed to establish the crop on its entire surface (Pruski *et al.*, 2009).

The results obtained in the sizing and implementation of the level type terraces are presented in figure 2. In figure 2 (a) the terraces were dimensioned considering the result obtained in the software without adjustments. In figure 2 (b) the terraces have been resized, in order to present adequate values for the ridges of the terraces, avoiding breakage problems.

In the first data processing, the heights of the terrace ridges ranged from 0.42 to 0.66 m. However, these values are not practicable in constructive terms, and it is necessary to adopt fixed values to facilitate construction and avoid errors. In this way, the value of 0.70 m was considered for the resizing of all the terraces in the area, as

de presentar valores adecuados para las crestas de las terrazas, evitando problemas de rotura.

described in table 1. This value was adopted by safety criteria (Pruski *et al.*, 2009).

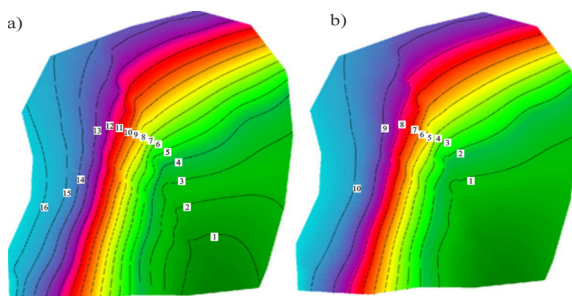


Figura 2. (a) marcación de las terrazas a nivel, con altura variable; (b) marcación de las terrazas redimensionadas.

Figure 2. (a) implementation of the level type terraces, with variable height; (b) implementation of the resized level type terraces.

En el primer procesamiento de los datos, las alturas de las crestas de las terrazas variaban de 0,42 a 0,66 m. Sin embargo, estos valores no son factibles en términos constructivos, siendo necesario la adopción de valores fijos para facilitar la construcción y evitar errores, de esta forma, se consideró el valor de 0,70 m para el redimensionamiento de todas las terrazas del área, como se describe en la cuadro 1. Este valor fue adoptado por criterios de seguridad (Pruski *et al.*, 2009).

Al realizarse el redimensionamiento de la altura de la cresta, las terrazas se redujeron de 16 a 10, en función de la mayor capacidad de almacenamiento debido al aumento de la altura de las terrazas. De esta forma, el menor número de terrazas y, consecuentemente, menor longitud total de las terrazas

When resizing the height of the terrace ridge, the terraces were reduced from 16 to 10, because of greater water storage capacity due to the increase in the height of the terraces. Thus, a lower number of terraces and, consequently, a shorter total length of the terraces (13,972.6 m to 9,545.4 m), enable to reduce construction costs and facilitate agricultural operations, without compromising the terraces purpose of soil and water preservation.

In table 2 presents the results obtained in the dimensioning and implementation of the drainage channel in the Terraço 4.1 software, showing the volume of surface runoff from each terrace, essential data for the dimensioning of the drainage channel.

(13.972,6 m a 9.545,4 m), posibilidad reducir los costos de construcción de las terrazas y facilita las operaciones agrícolas, sin comprometer su finalidad de preservación del suelo y del agua.

It is verified in table 2 that the surface runoff volume per terrace ranged from 0.6 to 0.8 m³.s⁻¹, totaling 7.6 m³.s⁻¹. Thus, the drainage channel was dimensioned to allow drainage

Cuadro 1. Resultados obtenidos en el software *Terraço* 4.1 para el redimensionamiento y marcación de las terrazas a nivel, con altura de cresta fija.

Table 1. Results obtained in *Terraço* 4.1 software for resizing and implementation of level type terraces, with a fixed ridge height.

Terraza	Elevación (m)	Espaciamiento vertical (m)	Pendiente media (%)	Longitud (m)	Área (m ²)	Altura (m)
1	481,7	2,1	0,9	748,7	128,3	0,7
2	479,4	2,3	2,9	869,4	66,0	0,7
3	476,8	2,6	6,4	919,4	34,9	0,7
4	473,9	2,8	8,6	950,0	29,4	0,7
5	471,1	2,9	9,2	993,1	29,2	0,7
6	468,2	2,9	9,2	1.024,2	30,1	0,7
7	465,3	2,8	8,7	1.072,0	33,1	0,7
8	462,6	2,7	7,4	1.100,8	39,0	0,7
9	460,0	2,5	5,2	1.098,1	52,2	0,7
10	457,8	2,3	2,7	769,6	70,7	0,7

El cuadro 2 presenta los resultados obtenidos en el dimensionamiento y marcación de la balanza de drenaje en el software *Terraço* 4.1, evidenciando el volumen de escurrimiento superficial de cada terraza, dato imprescindible para el dimensionamiento del canal de desagüe.

Se verifica que el caudal por terraza osciló de 0,6 a 0,8 m³.s⁻¹, totalizando un caudal de 7,6 m³.s⁻¹. De esta forma, el canal de drenaje fue dimensionado para permitir el drenaje en el sentido de la pendiente de las terrazas, situando el terreno conforme se presenta en la figura 3. El caudal de las nueve primeras terrazas, 6,9 m³.s⁻¹, fue dirigido al

in the direction of the low slope of the terraces, placing in the area as shown in figure 3. The surface runoff volume of the first nine terraces, 6.9 m³.s⁻¹, was directed to the channel that drains the water into the riparian forest of the Piracicaba River, with an extension of 530 m.

For the last terrace, with a surface runoff of 0.65 m³.s⁻¹, it was not necessary to redirect its water volume to the drainage channel, since it can be directed linked to a nearby vegetation area, minimizing soil losses.

The use of a triangular section channel was chosen to reduce construction costs, and the small slope minimizes erosive processes in the

canal que desagua en bosque ribereño del río Piracicaba, con extensión de 530 m.

channel. Also, depth less than one meter prevents accidents (Pruski *et al.*, 2009).

Cuadro 2. Resultados obtenidos en el software *Terraço* 4.1 para la marcación y el dimensionamiento de las terrazas en gradiente.

Table 2. Results obtained in *Terraço* 4.1 software for implementation and sizing of the gradient type terraces.

Terraza	Elevación (m)	Espaciamiento vertical (m)	Pendiente media (%)	Longitud (m)	Área (m ²)	Caudal (m ³ .s ⁻¹)
1	481,7	2,1	0,9	748,7	128,3	0,6
2	479,4	2,3	2,9	869,4	66,0	0,7
3	476,8	2,6	6,4	919,4	34,9	0,7
4	473,9	2,8	8,6	950,0	29,4	0,8
5	471,1	2,9	9,2	993,1	29,1	0,8
6	468,2	2,9	9,2	1024,2	30,1	0,8
7	465,3	2,8	8,7	1072,0	33,1	0,8
8	462,6	2,7	7,4	1100,8	3,0	0,8
9	460,0	2,5	5,2	1098,1	52,2	0,8
10	457,8	2,3	2,7	769,6	70,7	0,7

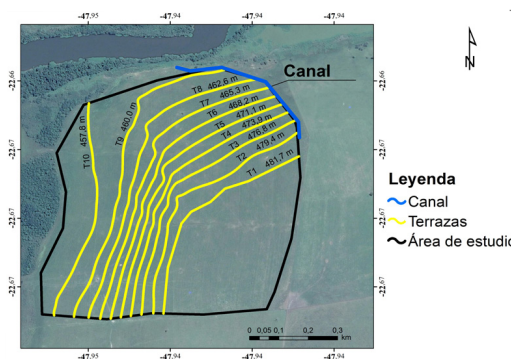


Figura 3. Marcación del canal de evacuación en terrazas en gradiente.

Figure 3. Implementation of the drainage channel in gradient type terraces.

Para la última terraza, con caudal de $0,65 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, no fue necesario el redireccionamiento de su caudal al canal de desagüe, pues ésta puede ser dirigida directamente a un área de vegetación próxima, minimizando las pérdidas de suelo.

Se optó por la utilización de un canal de sección triangular por reducir los costos de construcción, y la pequeña inclinación minimiza los procesos erosivos en el canal. La profundidad inferior a un metro evita accidentes (Pruski *et al.*, 2009).

En el análisis de los resultados obtenidos en el dimensionamiento, se verifica que la velocidad de escurrimiento del agua fue de $1,08 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, siendo considerada adecuada para evitar la colmatación, y también la erosión de las paredes y del fondo del canal. El régimen de flujo para esta velocidad de escurrimiento se clasifica como subcrítico, lo que facilita el proceso de construcción y operación del canal (Chow, 1986).

Se puede observar que la gran ventaja de la utilización del software es la reducción de la complejidad del dimensionamiento y la implantación de terrazas, además de no requerir una gran robustez computacional. Otros softwares disponibles, como el terrace erosion and sediment transport (TEST), desarrollado por Dijk y Bruijnzel (2003), necesita parámetros complejos, mientras que el HEC-HMS (Hydrologic Modeling System), utilizado por Fedorová *et al.* (2017), se limita en general al estudio de la escorrentía.

It was verified that the surface runoff speed was $1.08 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, being considered adequate to avoid silting, and the erosion of the walls and bottom of the canal. The flow regime for this surface runoff rate is classified as subcritical, which facilitates the canal construction and operation process (Chow, 1986).

The great advantage of using the software is the reduction of the complexity of the dimensioning and the implementation of terraces, in addition to not requiring great computational robustness. Other available software, such as the terrace erosion and sediment transport (TEST), developed by Dijk and Bruijnzel (2003), requires complex parameters, while the HEC-HMS (Hydrologic Modeling System), used by Fedorová *et al.* (2017), is generally limited to the study of runoff.

Conclusion

For the two types of terraces analyzed, at level and gradient, *Terraço* 4.1 software allowed obtaining the necessary data for the implementation of the terrace system in the study area, according to specific local conditions, such as climate, soil, and type of crop.

Financial sources

This study was funded in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) – financial code 001, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), and Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG).

Conclusión

Para los dos tipos de terrazas analizadas, a nivel y gradiente, el software *Terraço* 4.1 permitió la obtención de los datos necesarios para la implantación del sistema de terraza en la zona, conforme a las condiciones específicas locales, como clima, suelo y tipo de cultivo.

Fuentes de Financiación

Este estudio fue financiado en parte por la Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código Financiero 001, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), y Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG).

Literatura citada

Chow, V.T. 1986. *Open-channel hydraulics*. McGraw-Hill. New York, US. 680 p.

Didoné, E.J., J.P.G. Minella, and O. Evrard. 2017. Measuring and modelling soil erosion and sediment yields in a large cultivated catchment under no-till of Southern Brazil. *Soil Tillage Res.* 174:24-33.

Dijk, A. I. J. M. and L. A. Bruijnzel. 2003. Terrace erosion and sediment transport model: a new tool for soil conservation planning in bench-terraced steepplands. *Environmental Modelling & Software.* 18(9):839-850.

Empresa Brasileira de Investigación Agrícola (EMBRAPA). 2011. O novo mapa de solos do Brasil. Disponible en: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br>. Fecha de consulta: enero 2017.

Fedorová, D., H. Bačínová and P. Kovář. 2017. Use of Terraces to Reduce Overland Flow and Soil Erosion,

End of English Version

Comparison of the HEC-HMS Model and the KINFIL Model Application. *Soil & Water Res.* 12 (4):195-201.

Griebeler, N.P., D.F. Carvalho e A.T. Matos. 2000. Estimativa do custo de implantação de sistema de terraceamento, utilizando-se o Sistema de Informações Geográficas. Estudo de caso: bacia do rio Caxangá, PR. *Agriambi.* 4(2):299-303.

Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos (GPRH). 2020. Download de Softwares. Universidad Federal de Viçosa, MG. Disponible en: <http://www.gprh.ufv.br/?area=softwares>. Fecha de consulta: enero 2020.

Kertzman FF, A.M.S. Oliveira, F.X.T. Salomão e M.I.F. Gouveia. 1995. Mapa de erosão do Estado de São Paulo. *Rev. Inst. Geol.* 16:31-36.

Lombardi, F. N., R. J. Bellinazzi, I.F. Lepsch, J.B. Oliveira, D. Bertolini, P.A. Galeti e M.I. Drugowich. 1994. *Terraceamento agrícola*. Campinas: Coordenadoria de Assistência Técnica Integral (CATI) 39p.

Pruski, F.F., P.A. Ferreira, M.M. Ramos and P.R. Cecon. 1997. A model to design level terraces. *J. Irrig. Drain. Eng.* 123(1):8-12.

Pruski, F.F. 2009. *Conservação de solo e água: práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica*. 2ª edición. Editora UFV. Viçosa. 279 p.





Weill, M. A. M. and G. Sparovek. 2008. Erosion study in the Ceveiro watershed (Piracicaba, SP): II - Interpreting soil loss tolerance using the Soil Useful Life Index methodology. *Rev. Bras. Ciênc. Solo.* 32 (2):815-824.

Efecto del ácido salicílico sobre la germinación y crecimiento inicial del café (*Coffea arabica* L. var. Costa Rica 95)

Effect of salicylic acid on the germination and initial growth of coffee (*Coffea arabica* L. var. Costa Rica 95)

Efeito do ácido salicílico sobre a germinação e crescimento inicial do café (*Coffea arabica* L. var. Costa Rica 95)

Alder Gordillo Curiel¹, Luis Alfredo Rodríguez Larramendi^{1*}, Miguel Ángel Salas Marina¹ y María de los Ángeles Rosales Esquinca²

¹Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, Ingeniería Agroforestal, subsede Villa Corzo. km 3.0 carretera Villa Corzo-Monterrey C.P 30520. Correo electrónico: (AG) alder.gordillo@unicach.mx, ; (LR) alfredo.rodriguez@unicach.mx, ; (MS) miguel.salas@unicach.mx, ; ²Universidad Autónoma de Chiapas. Facultad de Ciencias Agronómicas. Campus V. Carretera Villaflores-Ocozocoautla km 84.5 C.P. 30470. Correo electrónico: rosalesm@unach.mx .

Resumen

El establecimiento de nuevas plantaciones de cafetos requiere plántulas vigorosas y sanas que garanticen un buen crecimiento y altos rendimientos; de ahí la importancia del estudio del efecto de sustancias bioestimulantes en las fases tempranas de la ontogenia del cultivo. En este sentido, se estudió el efecto combinado de cinco concentraciones de ácido salicílico (0; 0,0125; 0,025; 0,05; 0,1 y 1 mM) y diferentes tiempos de imbibición de las semillas (1, 2, 3 y 4 h), sobre la germinación y crecimiento inicial de plántulas de cafetos (*Coffea arabica* L.) variedad Costa Rica 95. El diseño experimental fue completamente al azar con un arreglo bifactorial, con 24 tratamientos y 20 repeticiones. Se evaluó el porcentaje y tasa de germinación, altura y diámetro del hipocótilo. Los resultados demostraron que las concentraciones (0,0125; 0,025 y 0,05 mM) y tiempos de imbibición de las semillas de 3 y 4 h en ácido salicílico promueven una germinación temprana y un efecto positivo en la altura y el diámetro del hipocótilo. Los hallazgos obtenidos demuestran que el ácido salicílico aplicado en bajas concentraciones puede ser utilizado para acelerar la germinación

Recibido el 25-02-2020 • Aceptado el 21-07-2020.

*Autor de correspondencia. Correo electrónico: alfredo.rodriguez@unicach.mx

de semillas de café e inducir el crecimiento inicial de plántulas de cafetos, al tiempo que pudiera considerarse como una opción viable para los productores cafetaleros, tanto por su fácil aplicación como la inocuidad del producto.

Palabras clave: ácido salicílico, germinación, crecimiento, café.

Abstract

The establishment of new coffee plantations requires vigorous and healthy seedlings that guarantee good growth and high yields; hence the importance of studying the effect of bio-stimulant substances in the early stages of the crop's ontogeny. In this sense, the combined effect of five concentrations of salicylic acid (0; 0.0125; 0.025; 0.05; 0.1 and 1 mM) and different times of imbibition of the seeds (1, 2, 3 and 4 h), on the germination and initial growth of coffee plants (*Coffea arabica* L.) variety Costa Rica 95 was studied. The experimental design was completely randomized with a bifactorial arrangement, with 24 treatments and 20 repetitions. The percentage and germination rate, height and diameter of the hypocotyl were evaluated. The results showed that the concentrations (0.0125; 0.025 and 0.05 mM) and imbibition times of the seeds of 3 and 4 h in salicylic acid promoted an early germination and a positive effect on the height and diameter of the hypocotyl. The findings show that salicylic acid applied in low concentrations can be used to accelerate the germination of coffee seeds and induce the initial growth of coffee plantlets, while it could be considered as a viable option for coffee producers, both for its easy application and the safety of the product.

Keywords: salicylic acid, germination, growth, coffee.

Resumo

O estabelecimento de novas plantações de café requer mudas vigorosas e saudáveis que garantam um bom crescimento e altos rendimentos; daí a importância de estudar o efeito das substâncias bioestimulantes nos estágios iniciais da ontogenia da cultura. Neste sentido, foi estudado o efeito combinado de cinco concentrações de ácido salicílico (0; 0,0125; 0,025; 0,05; 0,1 e 1 mM) e diferentes tempos de imbibição das sementes (1, 2, 3 e 4 h), sobre a germinação e crescimento inicial das mudas de plantas de café (*Coffea arabica* L.) variedade Costa Rica 95. O projeto experimental foi completamente randomizado com uma disposição bifatorial, com 24 tratamentos e 20 repetições. A porcentagem e a taxa de germinação, altura e diâmetro do hipocótilo foram avaliadas. Os resultados mostraram que as concentrações (0,0125; 0,025 e 0,05 mM) e os tempos de imbibição das sementes de 3 e 4 h em ácido salicílico promovem uma germinação precoce e um efeito positivo sobre a altura e o diâmetro do hipocótilo. Os resultados mostram que o ácido salicílico aplicado em baixas concentrações pode ser usado para acelerar a germinação dos grãos de café e induzir o crescimento inicial dos pés de café, enquanto que poderia ser considerado como uma opção viável para os produtores de café, tanto por sua fácil aplicação como pela segurança do produto.

Palavras-chave: ácido salicílico, germinação, crescimento, café.

Introducción

La introducción de nuevos materiales genéticos en las plantaciones de café en Chiapas, México, ha cobrado importancia debido a la necesidad de reemplazar variedades susceptibles a la roya (*Hemileia vastatrix* Berk & Br.). El ataque de este hongo en el año 2012 devastó plantaciones de los cafetales de la Sierra Madre de Chiapas en México, las cuales sufrieron pérdidas del 70 % de la producción (Castiaux *et al.*, 2014).

La obtención de plántulas vigorosas es un factor importante en la renovación de cafetales, pues ello garantiza que las variedades expresen su mejor potencial productivo en campo (Sadeghian y Zapata, 2015). El crecimiento inicial de las plántulas es de vital importancia y se requieren de muchos cuidados para lograr plantas vigorosas, sanas y con buen desarrollo. En este sentido, se han realizado investigaciones y nuevos aportes al conocimiento relacionadas con el crecimiento inicial de plántulas de café, evaluando desde dosis de fertilización mineral, uso de microorganismos benéficos, reguladores de crecimiento como brasinoesteroides, citocininas entre otros, con la finalidad de obtener plantas vigorosas desde su temprana edad (Cruz-Castillo *et al.*, 1999; Utria-Borges *et al.*, 2004; Anaya *et al.*, 2011; Sadeghian-Khalajabadi y González-Osorio, 2014).

En esta misma línea, el uso de compuesto fenólicos ha cobrado importancia en los últimos años, aunque su aplicación inició en los

Introduction

The introduction of new genetic materials in coffee plantations in Chiapas, Mexico, has become important because of the necessity to replace varieties susceptible to rust (*Hemileia vastatrix* Berk & Br.). The attack of this fungus in 2012 devastated coffee plantations in the Sierra Madre of Chiapas, which lost a 70 % of production (Castiaux *et al.*, 2014).

An important factor in the renewal of coffee plantations is obtaining vigorous seedlings, since this guarantees that the varieties express their best productive potential in the field (Sadeghian and Zapata, 2015). The initial growth of the seedlings has a vital importance and require especial cares to achieve vigorous, healthy and well-developed plants. In this sense, research and new contributions to knowledge related to the initial growth of coffee seedlings have been carried out evaluating some aspect such as doses of mineral fertilization, the use of beneficial microorganisms, growth regulators brassinosteroids, cytokines, etc.; In order to obtain vigorous plants from an early age (Cruz-Castillo *et al.*, 1999; Utria-Borges *et al.*, 2004; Anaya *et al.*, 2011; Sadeghian-Khalajabadi and González-Osorio, 2014).

In recent years, the use of phenolic compounds has gained importance although its application began in the 1970s. Salicylic acid (AS), or ortho-hydroxybenzoic acid, are a phenolic compound found in plants (Hayat *et al.*, 2013). The first investigation of this compound on the physiology of

años setenta. El ácido salicílico (AS) o ácido orto-hidroxibenzoico, es un compuesto fenólico que se encuentra en las plantas (Hayat *et al.*, 2013). El primer reporte de una investigación de este compuesto sobre la fisiología de las plantas en México, fue sobre su efecto en el estatus hídrico de plántulas de frijol (Larqué-Saavedra, 1978). A partir de este hecho se han realizado investigaciones sobre el AS y su efecto en el crecimiento de raíces y en la floración, germinación, procesos asociados al estado hídrico de las plantas y su relación en el sistema de defensa que desarrollan las plantas ante la presencia de patógenos (Cleland y Tanaka, 1979; Manthe *et al.*, 1992; Barskosky y Einhellig, 1993; Bandurska y Ski, 2005; Rajjou, 2006; Echevarría-Machado *et al.*, 2007; Korkmaz *et al.*, 2007; Gharib y Hegazi, 2010; Nazar *et al.*, 2017; Rodríguez-Larramendi *et al.*, 2017).

No se ha estudiado lo suficiente sobre el efecto que tiene la aplicación del AS en especies cultivadas, en comparación con otros reguladores de crecimiento. Sin embargo, las respuestas de las plantas al efecto del AS y particularmente ante situaciones de estrés biótico son las más abundantes en la literatura (Rodríguez-Larramendi *et al.*, 2017).

Se ha demostrado que el AS puede retrasar e inhibir la germinación o aumentar el vigor de la semilla. Estos resultados contradictorios pueden estar relacionados con las concentraciones de AS empleadas (Hayat *et al.*, 2013). En cebada (*Hordeum vulgare* L.) dosis de AS mayores de 0,25 mM de AS

plants in Mexico was about its effect in the water status of bean seedlings (Larqué - Saavedra, 1978). From this fact, some researches has been realized about SA and its effect in growth root and flowering, germination and processes associated with the water state of plants and their relationship with the defense system that plants develop against the presence of pathogens (Cleland and Tanaka, 1979; Manthe *et al.*, 1992; Barskosky and Einhellig, 1993; Bandurska and Ski, 2005; Rajjou, 2006; Echevarría-Machado *et al.*, 2007; Korkmaz *et al.*, 2007; Gharib and Hegazi, 2010; Nazar *et al.*, 2017; Rodríguez-Larramendi *et al.*, 2017).

Not enough has been studied about the effect that the application of AS has on cultivated species, compared to other growth regulators. However, the plant responses to the effect of SA and particularly to situations of biotic stress are the most abundant in the literature (Rodríguez-Larramendi *et al.*, 2017).

Many investigations have been shown that the use of AS delay and inhibit germination or increase seed vigor. These contradictory results may be related to the concentrations of SA used (Hayat *et al.*, 2013). In barley (*Hordeum vulgare* L.) the doses of AS greater than 0.25 mM inhibited germination (Xie *et al.*, 2007), while in *Arabidopsis thaliana*, AS concentrations superior to 1 mM delayed and inhibited germination (Rajjou, 2006). Similarly, in corn (*Zea mays* L.) a complete inhibition of seed germination was observed with doses of 3-5 mM AS (Guan and Scandalios, 1995).

inhibieron la germinación (Xie *et al.*, 2007), mientras que en *Arabidopsis thaliana*, concentraciones superiores a 1 mM de AS retrasaron e inhibieron la germinación (Rajjou, 2006). De igual manera en maíz (*Zea mays* L.) se observó una completa inhibición de la germinación de las semillas con dosis de 3-5 mM de AS (Guan y Scandalios, 1995).

En contraparte, existen reportes del efecto estimulante del AS en la germinación de semillas y el crecimiento de plántulas de trigo (*Triticum aestivum* L.) tratadas con una concentración de 0,05 mM de AS y 3 horas de imbibición (Shakirova, 2007). Otro efecto positivo en la germinación, se observó en semillas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) tratadas con una concentración de AS de 0,1 mM durante 6 horas en condiciones de estrés por frío. Los resultados mostraron incrementos significativos en el porcentaje de germinación y la tasa de germinación (Gharib y Hegazi, 2010). En este mismo cultivo, Rodríguez-Larramendi *et al.* (2017) evaluaron el efecto de diferentes concentraciones y diferentes tiempos de imbibición en AS, encontrando que la imbibición de semillas durante 1 y 2 h, a concentraciones de 0,01 y 0,025 mM estimuló la germinación y el crecimiento inicial de las plántulas.

De acuerdo con los antecedentes mostrados y la importancia que reviste el cultivo del café para la región Frailesca de Chiapas en México; se realizó la presente investigación con el objetivo de estudiar el efecto de concentraciones y tiempos de imbibición de ácido salicílico sobre la

In contrast, there are reports of SA stimulating effect on seed germination and wheat seedlings growth (*Triticum aestivum* L.) treated with a concentration of 0.05 mM SA and 3 hours of imbibition (Shakirova, 2007). Another positive effect on germination was observed in bean seeds (*Phaseolus vulgaris* L.) treated with a SA concentration of 0.1 mM for 6 hours under cold stress conditions. The results showed significant increases in the germination percentage and the germination rate (Gharib and Hegazi, 2010). In this same crop, Rodríguez-Larramendi *et al.* (2017) evaluated the effect of different imbibition times and SA concentrations, finding that seed imbibition for 1 and 2 h, in concentrations of 0.01 and 0.025 mM, stimulated germination and initial growth of seedlings.

According to the background shown and the importance of coffee cultivation for the Frailesca region of Chiapas in Mexico; The present investigation was carried out with the aim of studying the effect of salicylic acid on several concentrations and imbibition times in the germination and initial growth of *Coffea arabica* (L.) variety Costa Rica 95.

Materials and methods

Location

A rustic greenhouse of 50 m² with a black polyethylene mesh that allowed 50 % of shade was established, in the experimental area of Villa Corzo headquarters on the Facultad de Ingeniería de la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas en Villa

germinación y crecimiento inicial de *Coffea arabica* (L.) variedad Costa Rica 95.

Materiales y métodos

Localización

Se estableció un invernadero rústico de 50 m², con una malla de polietileno color negra que permitió 50 % de sombra, en el área experimental de la sede Villa Corzo, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas en Villa Corzo, Chiapas, México, ubicada a los 16°09'45,6" N, 93°16'40,3" O, a 600 msnm.

Material vegetal

Se utilizaron semillas de café (*C. arabica*) de la variedad Costa Rica 95, resistente a roya, provenientes de un distribuidor de la región, con un 95 % de pureza.

Diseño experimental

Se diseñó un experimento completamente al azar con arreglo factorial, con 24 tratamientos y 20 repeticiones. El factor A estuvo compuesto por seis niveles, correspondiente a las concentraciones de ácido salicílico (0; 0,0125; 0,025; 0,05; 0,1 y 1 mM), y un testigo en agua destilada considerado como 0 mM). El factor B, con cuatro niveles, lo conformaron los tiempos de imbibición de las semillas en ácido salicílico (1, 2, 3, 4 horas).

Concentraciones de ácido salicílico

La preparación de las concentraciones de AS se realizó tomando como referencia su masa molar. A partir de una solución madre de 1 M, se realizaron

Corzo, Chiapas, located at 16 ° 09'45.6" N, 93 ° 16'40.3" W, 600 meters above sea level.

Vegetal material

Coffee seeds (*C. arabica*) of Costa Rica 95 variety were used, which are resistant to rust and have a 95 % of purity from a distributor in the region.

Experimental design

A randomized experiment with a factorial arrangement was designed integrated for 24 treatments and 20 repetitions. The A factor was composed of six levels, corresponding to the concentrations of salicylic acid (0; 0.0125; 0.025; 0.05; 0.1 and 1 mM) and a control in distilled water considered as 0 Mm. The B factor, with four levels, formed by the imbibition times of the seeds in salicylic acid (1, 2, 3, 4 hours).

Salicylic acid concentrations

The AS concentrations was prepared with their molar mass as reference. From a 1 M of stock solution, the respective dilutions were realized to five concentrations (0.0125; 0.025; 0.05; 0.1 and 1mM). Subsequently, 20 seeds without parchment (endocarp) were placed into the 50 mL beakers, with 40 mL of each solution. The control was imbibed in distilled water with the same volume and were left in each solution according to the imbibition times studied (1, 2, 3 and 4 h). Then, the seeds were removed and left on filter paper for 15 minutes at room temperature to remove excess SA and sow them. The sowing was carried out in plastic trays with 64 alveoli on a substrate composed of 85 % Peat Moss (*Sphagnum* moss) and 15 % pumice.

las respectivas diluciones hasta lograr las cinco concentraciones (0,0125; 0,025; 0,05; 0,1 y 1 mM). Posteriormente, se colocaron 20 semillas sin pergamino (endocarpio) en vasos de precipitados de 50 mL, con 40 mL de cada solución. El testigo se embebió en agua destilada con el mismo volumen y se dejaron en cada solución de acuerdo a los tiempos de imbibición estudiados (1, 2, 3 y 4 h). Seguidamente, se sacaron las semillas y se dejaron en papel filtro por 15 minutos a temperatura ambiente para eliminar el exceso de AS y sembrarlas inmediatamente. La siembra se realizó en charolas de plástico de 64 alveolos sobre un sustrato compuesto por un 85 % de Peat Moss (musgo *Sphagnum*) y 15 % de piedra pómez (pumita).

Una vez sembradas las semillas, se hicieron riegos diarios con 80 mL de agua destilada por alveolo. La siembra se realizó el 01 de febrero del 2018.

Variables y muestreos

Al inicio de la germinación (32 días después de la siembra) se contaron las semillas germinadas por tratamientos cada dos días y se calculó el porcentaje de germinación (PG) y la tasa de germinación (TG) (días), con la fórmula $TG = (\sum n_t) / (\sum n)$, donde n es el número de semillas germinadas en el tiempo, t es el número de días transcurridos para la germinación (Matthews y Khajeh-Hosseini, 2007), además con los registros de los porcentajes de germinación, se analizó la dinámica de germinación por efecto de los tratamientos de AS aplicados.

A partir de la aparición de las hojas cotiledonales (fase de mariposa), a todas las plántulas de cada tratamiento, se les midió el diámetro (mm) en la base del

Once the seeds were sown, they were irrigated daily with 80 mL of water distilled by alveolus. The sowing was done on February 1, 2018.

Variables and samples

At the beginning of germination (32 days after sowing) the seeds germinated by treatments were counted every two days. The percentage of germination (PG) and the germination rate (TG) (days) were calculated, with the formula $TG = (\sum n_t) / (\sum n)$, where n is the number of seeds germinated over time, t is the number of days elapsed for germination (Matthews and Khajeh-Hosseini, 2007). In addition to record the percentages of germination, the germination dynamics were analyzed by the effect of the AS treatments applied.

From the appearance of the cotyledonal leaves (butterfly phase), for all the seedlings of each treatment, the diameter (mm) at the base of the hypocotyl was measured with a Vernier (Pretul Calibrator VER-6P) and the height of the hypocotyl from the neck to the insertion point of the cotyledonal leaves, with a ruler.

Statistical analysis

The data were processed through a bifactorial analysis of variance, after comparing the homogeneity of variances through the Bartlett test (Snedecor and Cochran, 1989). The comparison of means was performed through the Minimum Significant Difference test (MSD) for a probability error of $p \leq 0.05$. The analyzes were executed with Statistica 8.0 software (StatSoft, 2008).

hipocótilo con un Vernier (Calibrador Pretul VER-6P) y la altura del hipocótilo desde el cuello hasta el punto de inserción de las hojas cotiledonales, con una regla milimetrada.

Análisis estadístico

Los datos se procesaron a través de un análisis de varianza bifactorial, previa comparación de la homogeneidad de varianzas a través de la prueba de Bartlett (Snedecor y Cochran, 1989). La comparación de medias se realizó a través de la prueba de la Mínima Diferencia Significativa (MDS) para una probabilidad de error $p \leq 0,05$. Los análisis se realizaron con el software Statistica 8.0 (StatSoft, 2008).

Resultados y discusión

Porcentaje de germinación

No se observaron diferencias estadísticas significativas entre las interacciones de las concentraciones y tiempos de imbibición del AS sobre la germinación ($p=0,63$) (figura 1), pero si hubo diferencias significativas ($p=0,00$) dentro de los factores individuales (figura 2).

El mayor porcentaje de germinación (31,25 %) se registró en el tratamiento con AS a una concentración de 0,0125 mM, siendo estadísticamente diferente que el testigo sin AS (17,5 %). Los tratamientos con una concentración de 0,025 mM y 0,05 mM de AS tuvieron una germinación de 22,5 % y 25 %, respectivamente, siendo iguales estadísticamente al tratamiento testigo (figura 2A), mientras que las concentraciones de AS de 0,1 mM y 1 Mm mostraron un efecto inhibitorio al inicio de la germinación.

Results and discussion

Germination percentage

There weren't observe significant statistical differences between the interactions of SA concentrations and imbibition times on germination ($p=0.63$) (figure 1). However, were showed significant differences ($p=0.00$) within the individual factors. (figure 2).

The highest germination percentage (31.25 %) was registered in the treatment with SA at a concentration of 0.0125 mM, being statistically different from the control without AS (17.5 %). The treatments with a concentration of 0.025 mM and 0.05 mM of AS had a germination of 22.5 % and 25 %, respectively, being statistically equal to the control treatment (figure 2A), while the concentrations of AS of 0.1 mM and 1 Mm showed an inhibitory effect at the beginning of germination.

Regarding the imbibition times, the seeds submerged for 4 h in AS had the highest germination percentage (25 %), being statistically the same as the treatment at 3 h of imbibition (20.8 %). Treatments with 1 and 2 hours of AS imbibition presented the lowest germination percentages (9 % and 13 %) (figure 2B).

These results corroborate that AS influences the germination of coffee tree seeds and this effect depends on the concentration and the time of exposure of the seeds to this substance. In this regard, there are reports that indicate that AS also has an inhibitory effect, depending on the concentration and the plant species. For example, germination was inhibited in barley

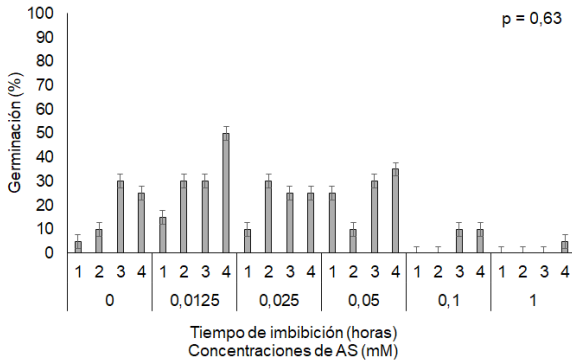


Figura 1. Efecto de las concentraciones y tiempos de inmersión de ácido salicílico sobre el porcentaje de germinación de semillas de *Coffea arabica* L. var. Costa Rica 95 a 32 días después de la siembra.

Figure 1. Concentrations and immersion times effect of AS on the germination percentage of *Coffea arabica* L. var. Costa Rica 95 at 32 days after sowing.

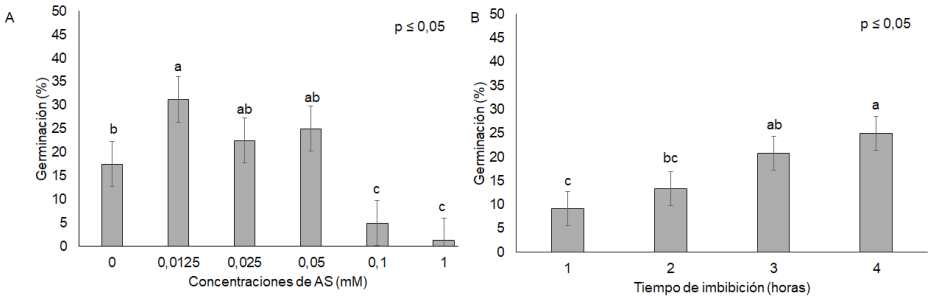


Figura 2. Efecto de las concentraciones (A) y tiempos de inmersión de ácido salicílico (B) sobre el porcentaje de germinación de semillas de *Coffea arabica* (L.) var Costa Rica 95.

Figure 2. Concentrations (A) and immersion times (B) effect of salicylic acid on the percentage of germination seeds of *Coffea arabica* (L.) var Costa Rica 95.

En cuanto a los tiempos de imbibición, las semillas sumergidas durante 4 h en AS presentaron el mayor porcentaje de germinación (25 %) siendo igual estadísticamente que el tratamiento a 3 h de imbibición (20,8 %). Los tratamientos con 1 y 2 horas de imbibición de AS presentaron los menores porcentajes de germinación (9 % y 13 %) (figura 2B).

Estos resultados corroboran que el AS influye en la germinación de semillas de cafetos y este efecto depende de la concentración y del tiempo de exposición de las semillas a esta sustancia. Al respecto, existen reportes que indican que el AS también tiene un efecto inhibitorio, en dependencia de la concentración y la especie vegetal. Por ejemplo, en semillas de cebada (*Hordeum vulgare* L.) tratadas con concentraciones de AS mayores de 0,25 mM se inhibió la germinación. Se demostró que el AS inhibió la inducción de giberelina en la producción de las α -amilasas en las células de aleurona de cebada (Xie *et al.*, 2007). En un estudio con seis variedades de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) sometidas a una temperatura de 15 °C, la aplicación de concentraciones de AS de 0,1 mM incrementó el porcentaje de germinación al menos en una variedad. Además, se registró un incremento de la relación del ácido giberélico (GA_3) y ácido abscísico (ABA). Este equilibrio entre las cantidades relativas de GA_3 y ABA endógenas en las semillas y la sensibilidad de sus tejidos a estas hormonas regularon la germinación de las semillas (Gharib y Hegazi, 2010), de ahí que se establece que durante la

seeds (*Hordeum vulgare* L.) treated with AS concentrations greater than 0.25 mM. AS showed to inhibit the induction of gibberellin in the production of α -amylases in barley aleurone cells (Xie *et al.*, 2007). In a study, with six bean varieties (*Phaseolus vulgaris* L.) subjected to a temperature of 15 °C, the application of concentrations of AS of 0.1 mM increased the germination percentage in at least one variety. In addition, an increase in the ratio of gibberellic acid (GA_3) and abscisic acid (ABA) was recorded. This balance between the relative amounts of endogenous GA_3 and ABA in the seeds and the sensitivity of their tissues to these hormones regulated the germination of the seeds (Gharib and Hegazi, 2010), hence it is established that during the early stage of development of seedlings a complex interaction between AS, ABA and GA_3 determines the result of germination (Rivas-San Vicente and Plasencia, 2011).

In an experiment with cucumber seeds (*Cucumis sativus* L.) treated with AS at concentrations of 0.01; 0.05; 0.1 and 0.5 mM, with and without nitrogen nutrition, the results showed that the 0.5 mM concentration obtained the highest percentage of germination, being better in the absence of nitrogen (Singh *et al.*, 2010).

AS has shown to induce various responses depending on the applied concentration and fairly high concentrations that are required to observe the effects (Métraux *et al.*, 1990). In all cases, the first observed effect was a delay in seed germination

etapa temprana de desarrollo de las plántulas una interacción compleja entre AS, ABA y GA₃ determina el resultado de la germinación (Rivas-San Vicente y Plasencia, 2011).

En un experimento con semillas de pepino (*Cucumis sativus* L.) tratadas con AS a concentraciones de 0,01; 0,05; 0,1 y 0,5 mM, con y sin nutrición nitrogenada, los resultados demostraron que la concentración 0,5 mM obtuvo el más alto porcentaje de germinación, siendo mejor en ausencia de nitrógeno (Singh *et al.*, 2010).

Se ha demostrado que el AS induce varias respuestas dependiendo de la concentración aplicada y se requieren concentraciones bastante altas para observar los efectos (Métraux *et al.*, 1990). En todos los casos, el primer efecto observado fue un retraso en la germinación de la semilla por encima de una concentración de 1 mM y el proceso de germinación de la semilla se afectó significativamente (Rajjou, 2006). Se han reportado resultados similares para la germinación de embriones de maíz (*Zea mays* L.), para los cuales altas dosis de AS, en el rango de 3 a 5 mM, inhibieron completamente la germinación (Guan y Scandalios, 1995). Sin embargo, se observa que, a concentraciones inferiores a 1 mM, el AS no afectó la velocidad, homogeneidad y el grado final de germinación de *Arabidopsis*. Por encima de una concentración de 0,5 mM, este compuesto implicaba un fuerte retraso del crecimiento y las plantas parecían blanqueadas, presumiblemente porque a altas concentraciones el AS indujo un estrés oxidativo (Rao *et al.*, 1997).

above a concentration of 1 mM and the seed germination process was significantly affected (Rajjou, 2006). Similar results have been reported for the germination of corn embryos (*Zea mays* L.), for which high doses of AS, in the range of 3 to 5 mM, completely inhibited germination (Guan and Scandalios, 1995). However, the AS did not affect the speed, homogeneity and the final degree of germination of *Arabidopsis* at concentrations below 1 mM. Above a concentration of 0.5 mM, this compound involved strong growth retardation and the plants appeared bleached because at high concentrations AS induced oxidative stress (Rao *et al.*, 1997).

Rajjou (2006), found that during the first eight hours of imbibition of AS at concentrations of 0.1; 0.25; 0.5; 0.75; one; 2.5 and 5 mM in *Arabidopsis* seeds, increased de novo synthesis of proteins normally accumulated during seed maturation and which are under ABA control. That explains, the delay in the germination of *Arabidopsis* seeds observed in the presence from AS and this coincides with the inhibitory effect on the germination of coffee seeds caused by the treatment with 1 mM found in this investigation.

Germination rate

The best seed germination rate was recorded in the AS concentration of 0.0125 Mm at 35.4 days and reached 77.5 % of germination, compared to the control, which had an average value of 39 days with a 67.5 % germination percentage (figure 3A).

Germination percentage dynamics

Between 32 and 42 days more than 80% of germination was reached,

Por su parte, Rajjou (2006), encontró que durante las primeras ocho horas de imbibición de AS a concentraciones de 0,1; 0,25; 0,5; 0,75; 1; 2,5 y 5 mM en semillas de *Arabidopsis*, aumentó la síntesis de *novo* de las proteínas normalmente acumuladas durante la maduración de la semilla y que están bajo control de ABA, lo que explicaría el retraso en la germinación de semillas de *Arabidopsis* observado en presencia de AS; esto coincide con el efecto inhibitorio sobre la germinación de semillas de café provocado por el tratamiento con 1 mM encontrado en esta investigación.

Tasa de germinación

La mejor tasa de germinación de semillas se registró en la concentración de 0,0125 mM de AS a los 35,4 días y alcanzó el 77,5 % de germinación, en comparación con el testigo, en el cual se observó un valor promedio de 39 días con un porcentaje de 67,5 % de germinación (figura 3A).

Dinámica del porcentaje de germinación

Entre los 32 y 42 días se alcanzó más del 80 % de germinación, después de ese lapso de tiempo los tratamientos no mostraron diferencias significativas (figura 3B), en este periodo los tratamientos 0,0125; 0,025; y 0,05 mM fueron mejores (22 - 81 %) que el testigo (17 - 75 %). Entre los 36 y 42 días, todos los tratamientos con AS tuvieron valores más altos (66 - 87 %) que el testigo (53 - 75 %), reafirmando el rol estimulador que tienen estas concentraciones en la germinación de las semillas de cafetos. El efecto positivo del AS en la germinación depende, entre

after that time the treatments did not show significant differences (figure 3B), in this period the treatments 0.0125; 0.025; and 0.05 mM were better (22 - 81 %) than the control (17 - 75 %). Between 36 and 42 days, all AS treatments had higher values (66 - 87 %) than the control (53 - 75 %), reaffirming the stimulating role that these concentrations have in the germination of coffee tree seeds. The positive effect of AS on germination depends, among other factors, on the species and the applied concentration. The bean seeds (*Phaseolus vulgaris* L.), treated with AS, presented a higher percentage of germination in concentrations of 0.01 mM at one hour (95.8 %) and three hours of imbibition (85 %), but an inhibitory effect on germination was observed with concentrations of 0.05 mM and 0.1 mM when they had higher exposure of the AS (from 2 to 4 h) (Rodríguez-Larramendi *et al.*, 2017). On the other hand, in dill seeds (*Anethum graveolens* L.) treated with AS (100 mg.L⁻¹), the increase in germination percentage was of 12% compared to seeds without AS (Espanany and Fallah, 2016).

Hypocotyl length and diameter

At the time of measurement, all seedlings of all treatments presented a normal appearance. A significant effect of the concentration factor of the AS on the length and diameter of the hypocotyl was observed, but not between the interaction of the concentration and the immersion time of the AS. The concentrations 0.0125 and 0.025 mM were better, forming longer hypocotyls, between 3 and 5

otros factores, de la especie y la concentración aplicada. En semillas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), tratadas con AS, se observó mayor porcentaje de germinación en concentraciones de 0,01 mM a una hora (95,8 %) y tres horas de imbibición (85 %), pero se observó un efecto inhibitorio en la germinación con las concentraciones 0,05 mM y 0,1 mM cuando tuvieron mayor exposición del AS (de 2 a 4 h) (Rodríguez-Larramendi *et al.*, 2017). Por su parte, en semillas de eneldo (*Anethum graveolens* L.) tratadas con AS (100 mg.L⁻¹), se observó un aumento en el porcentaje de germinación en 12 % comparadas con las semillas sin AS (Espanany y Fallah, 2016).

mm more compared to the control. The concentration of 1 mM caused shorter hypocotyls (42 mm), as did the control. The diameter of the hypocotyl was greater in the concentrations with AS, with the concentration of 1 mM producing the highest value (2.22 mm). When the seeds were exposed to an AS concentration of 1 mM, the seedlings showed shorter hypocotyls, but with a larger diameter (figure 4).

The effect of AS on plant stem growth has been documented. The Cucumber seeds (*Cucumis sativus* L.) that were pre-treated with AS concentrations of 0.07; 0.18 and 0.29 mM presented stems thicker than the control (distilled water) where

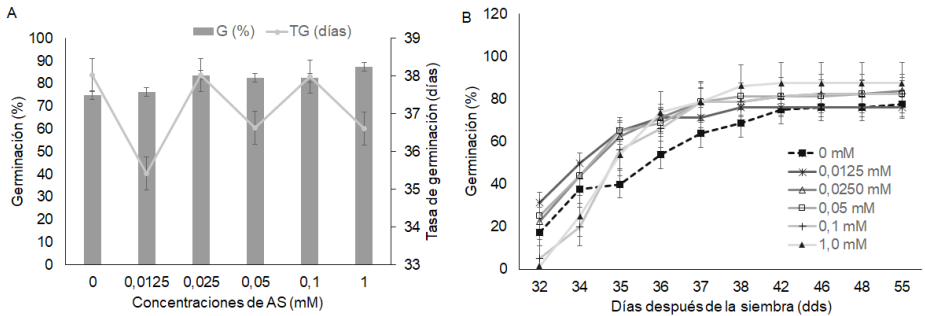


Figura 3. Porcentaje de germinación (G) y tasa germinación (TG) a los 32 dds (A), dinámica del porcentaje de germinación (B) de semillas de *Coffea arabica* L. var. Costa Rica 95 embebidas en ácido salicílico.

Figure 3. Germination percentage (G) and germination rate (TG) at 32 dds (A), dynamics of the germination percentage (B) of *Coffea arabica* L. var. Costa Rica 95 soaked in salicylic acid.

Longitud y diámetro del hypocótilo

Al momento de la medición, todas las plántulas de todos los tratamientos presentaron una apariencia normal.

AS concentrations at 0.07 and 0.18 mM had better results (Sadoun and Mohamed, 2016). Similar results were obtained by Rodríguez-Larramendi *et al.* (2017) in bean cultivation

Se observó un efecto significativo del factor concentración del AS sobre la longitud y el diámetro del hipocótilo, no así entre la interacción de la concentración y tiempo de inmersión del AS. Las concentraciones 0,0125 y 0,025 mM fueron mejores que el testigo, formando hipocótilos más largos, entre 3 y 5 mm más que el testigo. La concentración de 1 mM originó hipocótilos más cortos (42 mm), al igual que el testigo. El diámetro del hipocótilo fue mayor en las concentraciones con AS, siendo la concentración de 1 mM la que produjo el mayor valor (2,22 mm). Cuando las semillas se expusieron a una concentración de AS de 1 mM, las plántulas mostraron hipocótilos más cortos, pero de mayor diámetro (figura 4).

(*Phaseolus vulgaris* L.), who found that imbibition of bean seeds with AS at a concentration of 0.01 mM increased stem length. On the other hand, Hayat *et al.* (2005), demonstrated that wheat seedlings (*Triticum aestivum* L.) increased the number of leaves, fresh and dry weight, when the seeds were soaked at a AS concentration of 0.01 mM. In these seedlings there was greater activity of nitrate reductase and carbonic anhydrase, which allowed us to evaluate the assimilation of nitrogen and carbon. In the cultivation of papaya (*Carica papaya* L.) Hayat *et al.* (2013), found that AS concentrations at 0.0001; 0.01 and 1.0 μmol increased the height a 10 % and the stem diameter a 3.5 %.

Rivas-San Vicente and Plasencia (2011), mention that AS in coordination

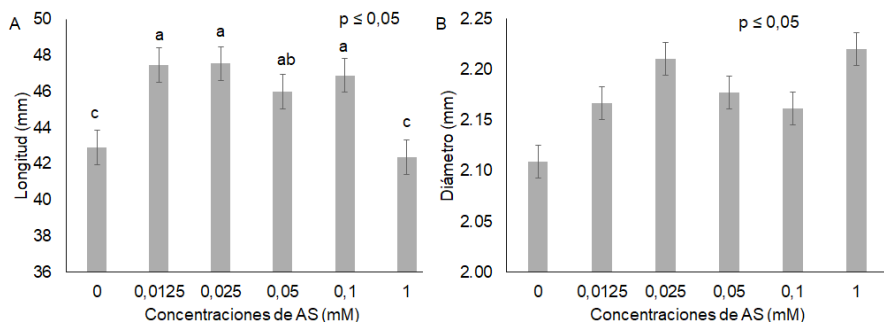


Figura 4. Efecto de la imbibición de concentraciones de ácido salicílico en semillas de *Coffea arabica* L., sobre la longitud y diámetro del hipocótilo.

Figure 4. Imbibition effect of salicylic acid concentrations in *Coffea arabica* L. seeds, on the length and diameter of the hypocotyl.

El efecto del AS en el crecimiento del tallo de plantas ha sido documentado. Semillas de pepino (*Cucumis sativus* L.) que fueron pre-

with cytokines, ethylene, gibberellins, auxins and jasmonic acid contributes significantly to the regulation of plant growth and development, although

tratadas en concentraciones de 0,07; 0,18 y 0,29 mM de AS, dieron como resultado tallos más gruesos que el testigo (agua destilada) donde las concentraciones de AS de 0,07 y 0,18 mM presentaron mejores resultados (Sadoun y Mohamed, 2016). Resultados similares obtuvieron Rodríguez-Larramendi *et al.* (2017) en el cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), quienes encontraron que la imbibición de semillas de frijol con AS a una concentración de 0,01 mM incrementó la longitud del vástago; por otra parte, Hayat *et al.* (2005), demostraron que las plántulas de trigo (*Triticum aestivum* L.) aumentaron el número de hojas, peso fresco y seco, cuando las semillas fueron remojadas en una concentración de AS de 0,01 mM. En estas plántulas hubo mayor actividad de la nitrato reductasa y de la anhidrasa carbónica, lo que permitió evaluar la asimilación del nitrógeno y del carbono. En el cultivo de papaya (*Carica papaya* L.) Hayat *et al.* (2013), encontraron que concentraciones de AS a 0,0001; 0,01 y 1,0 μmol , aumentaron en 10 % la altura y en 3,5 % el diámetro del tallo.

Rivas-San Vicente y Plasencia (2011), mencionan que el AS en coordinación con las citokininas, el etileno, las giberelinas, las auxinas y el ácido jasmónico contribuye de manera importante a la regulación del crecimiento y del desarrollo de las plantas, aunque los mecanismos bioquímicos que median la mayoría de estas respuestas siguen siendo en gran medida desconocidos.

the Biochemical mechanisms that mediate most of these responses remain largely unknown.

Conclusions

Salicylic acid causes an acceleration and increase in the percentage of germination of coffee seeds in concentrations of 0.0125; 0.025 and 0.05 mM, with imbibition times of 3 and 4 hours, due to the participation of salicylic acid in the regulation of the concentrations of the hormones involved in seed germination. Furthermore, they stimulated the growth of hypocotyls, being longer and thicker than the control. These findings show that salicylic acid applied in low concentrations can be used to improve the germination of coffee seeds and induce the initial growth of coffee seedlings and it could be considered a viable option for coffee growers as its easy application as a safety product.

End of English Version

Conclusiones

El ácido salicílico provoca una aceleración y aumento en el porcentaje de germinación de semillas de café en concentraciones de 0,0125; 0,025 y 0,05 mM, con tiempos de imbibición de 3 y 4 horas debido probablemente a la participación del ácido salicílico en la regulación de las concentraciones de las hormonas que participan en la germinación de las semillas. Además, estimularon el crecimiento

de hipocótilos, siendo más largos y gruesos que el testigo. Estos hallazgos demuestran que el ácido salicílico aplicado en bajas concentraciones puede ser utilizado para mejorar la germinación de semillas de café e inducir el crecimiento inicial de plántulas de cafetos, al tiempo que pudiera considerarse como una opción viable para los productores cafetaleros, tanto por su fácil aplicación como la inocuidad del producto.

Literatura citada

- Anaya, A.M. de L., R. Jarquín Gálvez, C. Hernández-Ramos, M. S. Figueroa y T. Monreal-Vargas. 2011. Biofertilización de café orgánico en etapa de vivero en Chiapas, México. *Rev. Mex. de Cien. Agríc.*2(3): 417–431.
- Bandurska, H. y A. S. Ski. 2005. The effect of salicylic acid on barley response to water deficit. *Act. Phy. Plant.* 27(3): 379–386. Available in: <https://doi.org/10.1007/s11738-005-0015-5>
- Barskosky, R. R. y F. A. Einhellig. 1993. Effects of salicylic acid on plant-water relationships. *Jour. Biol.Chem.* 19(2): 11.
- Castiaux, M., K. Crossman, M. Jurjonas y R. L. Mondragón. 2014. Diagnóstico participativo para la planeación de la producción de café en la microcuenca la Suiza de Chiapas, México. Colegio de Frontera Sur-Universidad Estatal de Colorado. 418 p.
- Cleland, C. F. y O. Tanaka. 1979. Effect of Daylength on the Ability of Salicylic Acid to Induce Flowering in the Long-day Plant *Lemna gibba* G3 and the Short-day Plant *Lemna paucicostata* 6746. *Plant Phys.* 64(3): 421–424. Available in: <https://doi.org/10.1104/pp.64.3.421>
- Cruz-Castillo, J. G., D. Elías-Román, A. De los Santos-Nen y P. A. Torres-Lima. 1999. Aplicaciones de CPPU (Citocinina) incrementan el crecimiento del café en vivero. *Rev. Chap. S. Hort.* 5(1): 59–62.
- Echevarría-Machado, I., R. M. Rosa y A. Larqué-Saavedra. 2007. Responses of transformed *Catharanthus roseus* roots to femtomolar concentrations of salicylic acid. *Plant Phys. and Bioch.*45(6–7): 501–507. Available in: <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2007.04.003>
- Espanany, A. y S. Fallah. 2016. Seed germination of dill (*Anethum graveolens* L.) in response to salicylic acid and haloprimum under cadmium stress. *Iranian Journal of Plant Physiology.* 6(3): 1701–1713. Available in: doi: 10.22034/ijpp.2016.532675.
- Gharib, F. A. y A. Z. Hegazi. 2010. Salicylic Acid Ameliorates Germination, Seedling Growth, Phytohormone and Enzymes Activity in Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under Cold Stress. *Jour. Amer. Scien.* 6(10): 675–683.
- Guan L. y J. G. Scandalios. 1995. Developmentally related responses of maize catalase genes to salicylic acid. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 92 (13):5930–5934. Available in: doi.org/10.1073/pnas.92.13.5930.
- Hayat, S., Q. Fariduddin, B. Ali y A. Ahmad. 2005. Effect of salicylic acid on growth and enzyme activities of wheat seedlings. *Acta Agronomica Hungarica,* 53(4): 433–437. Available in: <https://doi.org/10.1556/AAgr.53.2005.4.9>.
- Hayat, S., A. Ahmad y M. N. Alyemeni. 2013. *Salicylic Acid, Plant Growth and Development.* New York London. 395 p. Available in: <https://doi.org/10.1007/978-94-007-6428-6>
- Korkmaz, A., M. Uzunlu y A. R. Demirkiran. 2007. Treatment with acetyl salicylic acid protects muskmelon seedlings against drought stress. *Act. Phys. Plant.* 29 (6): 503–508. Available in: <https://doi.org/10.1007/s11738-007-0060-3>
- Larqué-Saavedra, A. 1978. The Antitranspirant Effect of Acetylsalicylic Acid on *Phaseolus vulgaris*. *Phys. Plant.* 43(2): 126–128. Available in: <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1978.tb01579.x>






- Manthe, B., M. Schulz y H. Schnabl. 1992. Effects of salicylic acid on growth and stomatal movements of *Vicia faba* L.: Evidence for salicylic acid metabolism. Jour. Chem. Ecol. 18(9): 1525–1539. Available in: <https://doi.org/10.1007/BF00993226>
- Matthews, S. y Khajeh-Hosseini, M. 2007. Length of the lag period of germination and metabolic repair explain vigour differences in seed lots of maize (*Zea mays*). S. Scien. Tech. 35(1): 200–212. Available in: <https://doi.org/10.15258/sst.2007.35.1.18>
- Métraux, J. P., H. Signer, J. Ryals, E. Ward, J. Gaudin, K. Raschdorf, E. Schmid, W. Blum y B. Inverardi. 1990. Increase in salicylic acid at the onset of systemic acquired resistance in cucumber. Science. 250(8): 8–10.
- Nazar, R., N. Iqbal y N. A. Khan. 2017. Salicylic acid: A multifaceted hormone. Salicylic Acid: A Multifaceted Hormone. Springer. Singapore. 243 p. Available in: <https://doi.org/10.1007/978-981-10-6068-7>
- Rajjou, L. 2006. Proteomic Investigation of the Effect of Salicylic Acid on Arabidopsis Seed Germination and Establishment of Early Defense Mechanisms. P. Phys. 141(3): 910–923.
- Rao M.V., G. Paliyath, D. P. Ormrod, D. P. Murr y C. B. Watkins. 1997. Influence of salicylic acid on H₂O₂ production, oxidative stress, and H₂O₂-metabolizing enzymes: salicylic acid-mediated oxidative damage requires H₂O₂. Plant Phys. 115:137–149.
- Rivas-San Vicente, M. y J. Plasencia. 2011. Salicylic acid beyond defence: Its role in plant growth and development. Journal of Experimental Botany, 62(10): 3321–3338. Available in: <https://doi.org/10.1093/jxb/err031>
- Rodríguez-Larramendi, L., M. González-Ramírez, M. Gómez-Rincón, F. Guevara-Hernández, M. A. Salas-Marina y A. Gordillo-Curiel. 2017. Efectos del ácido salicílico en la germinación y crecimiento inicial de plántulas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). Rev. Fac. Agron. (LUZ) 34(3): 253–269.
- Sadeghian-Khalajabadi, S. y H. González Osorio. 2014. Respuesta del café (*Coffea arabica* L.) a fuentes y dosis de nitrógeno en la etapa de almácigo. Cenicafé 65(1): 34–43.
- Sadeghian, S. y R. D. Zapata. 2015. Growth of coffee (*Coffea arabica* L.) During nursery's stage in response to the salinity generated by fertilizers. Revista de Ciencias Agrícolas, 31(2): 40–50.
- Sadoun M., E. S. y F. M. Mohamed. 2016. Growth and Yield of Cucumber Plants Derived from Seeds pretreated with Salicylic Acid. Jour. Biol.Chem. 11(1): 541–561.
- Shakirova, F. M. 2007. Role of hormonal system in the manifestation of growth promoting and antistress action of salicylic acid. Salicylic Acid: A Plant Hormone, 69–89. Available in: <https://doi.org/10.1007/1-4020-5184-0>.
- Singh, P., A. Kumar, V. Chaturvedi y B. B. Bose. 2010. Effects of salicylic acid on seedling growth and nitrogen metabolism in cucumber (*Cucumis sativus* L.) Nitrogen nutrition and role of salicylic acid effects of salicylic acid on seedling growth and nitrogen metabolism in cucumber (*Cucumis sativus* L.). Jour. Str. Phys. Bioch. 6(3): 102–113.
- Snedecor, G.W. y W.G. Cochran. 1989. Statistical Methods, Eighth Edition, Iowa State University Press. 507 p.
- StatSoft Inc. 2008. STATISTICA (Data Analysis Software System), version 8.0. Disponible en: <http://www.statsoft.com/>.
- Utria-Borges, E., V. Rodríguez-Oquendo, L. G. Moisés-Medina, J. O. Calderón-Agüero y F. Suárez-Soria. 2004. Respuesta de plántulas de caféto (*Coffea arabica* L.) a la aplicación de Brasinosteroides en diferentes concentraciones y etapas de su desarrollo. Rev. Chap. S. Hort. 10 (1): 11–14.
- Xie, Z., Z. L. Zhang, S. Hanzlik, E. Cook y Q. J. Shen. 2007. Salicylic acid inhibits gibberellin-induced alpha-amylase expression and seed germination via a pathway involving an abscisic-acid-inducible WRKY gene. Plant molecular biology, 64(3), 293-303.

Selección de plantas élites de lechosa ‘Maradol’ para la producción de semillas de calidad

Selection of elite “Maradol” papaya plants for the production of quality seeds

Seleção de plantas elites de mamão ‘Maradol’ para a produção de sementes de qualidade

Ariadne Vegas García*, Andy Díaz, Delis Pérez, Yanet Sandra†, Grigna Piña y Carlos Marín Rodríguez

Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas. (INIA-CENIAP). Maracay, Aragua. Venezuela. Correos electrónicos: (AV) vegaslux@yahoo.com, ; (AD) diazaa35@gmail.com, ; (DP) delispe@gmail.com, ; (GP) gpdumo1@gmail.com, ; (CP) (CM) carlmarin@gmail.com, .

Resumen

El cultivar Maradol Roja, originario de Cuba, presenta características morfológicas y agronómicas superiores a los cultivares locales y se ha adaptado a las condiciones edafoclimáticas de Venezuela; razones por las cuales se siembra en mayor proporción y ha sido aceptado ampliamente por los agricultores, comerciantes y consumidores. Sin embargo, la falta de disponibilidad y el alto costo de las semillas importadas limitan su expansión en el país. El objetivo del trabajo fue la selección de plantas andromonoicas del cultivar, procedentes de diferentes fuentes y localidades, basada en las características morfológicas y agronómicas, así como la producción de semillas de buena calidad mediante autopolinizaciones. Las características para la selección se basaron en aquellas propias del cultivar, tales como: inicio de floración entre los tres y cuatro meses del trasplante a campo, altura de floración, menor o igual de 80 cm, inicio de fructificación antes de los 4 meses, altura de las plantas menor a los 2 m, entre otras. Las plantas seleccionadas presentaron bajo porcentaje de esterilidad, de 30 y 64 frutos.planta⁻¹, pesos de frutos entre 1,4 a 1,7 kg y rendimientos estimados entre 42,5 y 98,50 kg.planta⁻¹. En cuanto a la calidad del fruto, fueron alargados y lisos, con pulpa gruesa y de color naranja-rojiza. Estas poblaciones se consideran

Recibido el 28-02-2020 • Aceptado el 09-06-2020.

*Autor de correspondencia. Correo electrónico: vegaslux@yahoo.com

la base para la producción de semillas de buena calidad, para continuar el proceso de selección de líneas puras e híbridos más productivos.

Palabras clave: autopolinizaciones, *Carica papaya*, líneas, mejoramiento genético.

Abstract

The cultivar Red Maradol native of Cuba, has morphological and agronomic features superior to local cultivars and adapted to soils and climates of Venezuela; that is why it is grown in a greater proportion and has been widely accepted by farmers, traders and consumers. However, the lack of availability and high cost of imported seeds limit its expansion in the country. The aim of this work was to select andromonoecious plants from different sources and locations, based on morphological and agronomic characteristics, and produce good quality seeds by self-pollinations. The characteristics for selection were based on those of the cultivar, such as: beginning of flowering between 3 and 4 months after transplant to the field, height of flowering less than or equal to 80 cm, beginning of fruiting before 4 months, height of plants less than 2 m, among others features. Selected plants showed low percentage of sterility, 30 and 64 fruits.plant⁻¹, fruit weights between 1.4 to 1.7 kg, and estimated yields between 42.5 and 98.50 kg.plant⁻¹ yields. Regarding fruit quality, they were elongated and smooth, wide orange-red color pulp. These populations are considered the basis for the production of good quality seeds, to continue the process of selection of more productive pure lines and hybrids.

Key words: autopolinations, *Carica papaya*, lines, plant breeding.

Resumo

A cultivar Maradol Roja, originária de Cuba, apresenta características morfológicas e agrônomicas superiores às cultivares locais e se adaptou às condições edafoclimáticas da Venezuela; Razões pelas quais é semeada em maior proporção e tem sido amplamente aceita por agricultores, comerciantes e consumidores. No entanto, a falta de disponibilidade e o alto custo das sementes importadas limitam sua expansão no país. O objetivo do trabalho foi a seleção de plantas andromonômicas da cultivar, provenientes de diferentes fontes e localidades, com base nas características morfológicas e agrônomicas, bem como a produção de sementes de boa qualidade por meio da autopolinização. As características para a seleção foram baseadas naquelas típicas da cultivar, como: início da floração entre três e quatro meses após o transplante no campo, altura da floração menor ou igual a 80 cm, início da frutificação antes dos 4 meses, altura da planta inferior a 2 m, entre outros. As plantas selecionadas apresentaram baixo percentual de esterilidade, de 30 e 64 frutos.planta⁻¹, peso de frutos entre 1,4 e 1,7 kg e produtividade estimada entre 42,5 e 98,50 kg.planta⁻¹. Em relação

à qualidade dos frutos, eles eram alongados e macios, com polpa espessa e cor laranja-avermelhada. Essas populações são consideradas a base para a produção de sementes de boa qualidade, para dar continuidade ao processo de seleção de linhas puras e híbridos mais produtivos.

Palavras-chave: autopolinizações, *Carica papaya*, linhagens, melhoramento genético.

Introducción

El cultivar Maradol Roja originario de Cuba presenta características morfológicas y agronómicas superiores y estables, entre ellas: plantas precoces de porte mediano, abundante follaje, entrenudos cortos, altura de floración y fructificación baja, flores hermafroditas tipo IV (66 %), femeninas tipo I (33 %), pentandrias e intermedias (tipos II y III, inferior al 1 %), y flores masculinas prácticamente ausentes. El rendimiento potencial es de 300 t.ha⁻¹ en 20 a 22 meses, los frutos son de tamaño y peso mediano (entre 1,6 y 2,2 kg), con un color de pulpa rojo salmón, sobre los 12 °Brix y de alta firmeza durante la cosecha y postcosecha, permitiendo larga vida de anaquel. Se adapta a condiciones tropicales y subtropicales (Ramos y Ramos, 2002). La alta plasticidad fenotípica de la planta de lechosa le permite adaptarse a muy diversas condiciones agroecológicas (Kaluran *et al.*, 2018).

Entre las desventajas del cultivar se citan la susceptibilidad al virus de la mancha anillada de la lechosa (PRSV, Papaya Ringspot virus, por sus siglas en inglés) y a la bacteriosis causada por *Erwinia* sp. (Hernández *et al.*, 2019; Maselli *et al.*, 2010; Rodríguez *et al.*, 2013). El propósito

Introduction

The cultivar Red Maradol, native of Cuba, presents superior and stable morphological and agronomic features, among them: Precocious plants of medium size, abundant foliage, short internodes, low flowering and fruiting height, hermaphrodite flowers type IV (66 %), female type I (33 %), pentandries and intermediate (types II and III, less than 1 %), and practically absent male flowers. The potential yield is 300 t.ha⁻¹ in 20 to 22 months, the fruits are medium in size and weight (between 1.6 and 2.2 kg), with a salmon red pulp color, above 12 °Brix and high firmness during harvest and post-harvest, allowing long shelf life. It adapts to tropical and subtropical conditions (Ramos and Ramos, 2002). The high phenotypic plasticity of the papaya plant allows it to adapt to very diverse agro-ecological conditions (Kaluran *et al.*, 2018).

Among the disadvantages of the cultivar there are susceptibility to the ringspot virus of papaya (PRSV, Papaya Ringspot Virus) and bacteriosis caused by *Erwinia* sp. (Hernández *et al.*, 2019; Maselli *et al.*, 2010; Rodríguez *et al.*, 2013). The main purpose of plant breeding of papaya throughout the world has been to provide stable production by conferring resistance

principal de la mejora genética de lechosa en todo el mundo ha sido proporcionar una producción estable al conferir resistencia al PRSV, una enfermedad devastadora que se transmite por los áfidos (Ogata, *et al.*, 2016). Sin embargo, los esfuerzos de mejoramiento convencional para desarrollar resistencia a PRSV no han sido totalmente exitosos (Rimberia, *et al.*, 2018). En México se ha observado que los cultivares Maradol y Red Lady pueden compensar la pérdida de producción debida a los efectos del PRSV por sus altos rendimientos; sin embargo, el rendimiento potencial puede variar según las regiones y técnicas de manejo empleadas (Rivas *et al.*, 2003).

En Venezuela, la lechosa se cultiva en todo el territorio, en huertos caseros y en unidades de producción pequeñas y medianas (entre 1,5 y 5 ha). Comercialmente, para el año 2015 se sembraron unas 11.200 ha, con una producción de 203.000 t (FEDEAGRO, 2019). Las plantas presentan porte alto; floración tardía a 1 m de altura, aproximadamente y alta fructificación; cierto porcentaje de plantas con flores macho o androicas, de flores solo estaminadas; frutas entre 2,5 a 5 kg y bajo contenido de sólidos solubles totales. Los cultivares locales denominados Cartagena y Paraguanera, se siembran poco en plantaciones comerciales (Aular y Casares, 2011). Los frutos de Cartagena maduran fácilmente y son delicados para el transporte, mientras que los de Paraguanera presentan más resistencia en condiciones de poscosecha (FUSAGRI,

a PRSV, a devastating disease that is transmitted by aphids (Ogata, *et al.*, 2016). However, conventional breeding efforts to develop resistance to PRSV have not been entirely successful (Rimberia, *et al.*, 2018). In Mexico, it has been observed that the Maradol cultivars and Red Lady can compensate for the loss of production due to the effects of PRSV for its high yields; however, the potential yield may vary according to the regions and management techniques used (Rivas *et al.*, 2003).

In Venezuela, papaya is grown throughout the territory, in home gardens and in small and medium-sized production units (between 1.5 and 5 ha). Commercially, for the year of 2015 some 11,200 ha were planted, with a production of 203,000 t (FEDEAGRO, 2019). The plants are tall; late flowering at 1 m high, approximately and high fruiting; certain percentage of plants with male or androic flowers, with only staminate flowers; fruits between 2.5 to 5 kg and low content of total soluble solids. The local cultivars called Cartagena and Paraguanera, are sown little in commercial plantations (Aular and Casares, 2011). The fruits of Cartagena ripen easily and are delicate for transport, while those from Paraguanera show more resistance in post-harvest conditions (FUSAGRI, 1984). In recent years "Maradol" has been widely accepted by farmers, merchants and consumers and has replaced local cultivars, satisfactorily adapting to Venezuela's edaphoclimatic conditions; however, the lack of availability and the high cost of imported seeds limit sowing

1984). En los últimos años ‘Maradol’ ha sido aceptada ampliamente por los agricultores, comerciantes y consumidores y ha sustituido los cultivares locales, adaptándose satisfactoriamente a las condiciones edafoclimáticas de Venezuela; sin embargo, la falta de disponibilidad y el alto costo de las semillas importadas limitan la siembra en el país (Aular y Casares, 2011).

Una de las limitantes en la producción de lechosa ha sido la heterogeneidad de sexos en las plantaciones. En este sentido, Medina (1995) afirma que, según el tipo de flores presentes en la planta, estas pueden agruparse en: la forma androica, la cual presenta principalmente flores masculinas (tipo V); forma ginoica, con flores únicamente femeninas (tipo I) y la forma sexual andromonoica, con flores hermafroditas de los tipos II, III y IV, además de flores masculinas (IV+), pentandrias y carpeloides. Solo la adquisición de semilla certificada o la obtención artesanal de semilla a partir de plantas con un alto nivel de hermafroditismo garantizarán esta condición.

Según Alonso (1946), teniendo como base poblaciones del cultivar Maradol Roja, se puede llegar a la obtención de líneas mediante la selección de plantas elites andromonoicas (de flores hermafroditas), en las que se encuentren reunidos el mayor número de los caracteres deseables y fijar dichos caracteres por medio de autopolinizaciones, eliminando las plantas indeseables y conservando los árboles que correspondan a las características ideales. Las líneas

in the country (Aular and Casares, 2011).

One of the limitations in papaya production has been the heterogeneity of the sexes in the plantations. In this sense, Medina (1995) affirms that, according to the type of flowers present in the plant, these can be grouped into: the androic form, which presents mainly male flowers (type V); Ginoic form, with only female flowers (type I) and the sexual andromonoecious form, with hermaphrodite flowers of types II, III and IV, in addition to male flowers (IV+), pentandries and carpeloids. Only the acquisition of certified seed or handmade collection of seed from plants with a high level of hermaphroditism will guarantee this condition.

According to Alonso (1946), having as a basis populations of the Red Maradol cultivar, lines can be obtained by selecting elite andromonoecious plants (with hermaphrodite flowers), in which the highest number of the desirable characters are gathered and set these characters through self-pollinations, eliminating undesirable plants and preserving trees that correspond to the ideal characteristics. Andromonoecious lines are the best medium to maintain the supply of pure seeds, which will give uniform trees in the plantations, adopting the method of bagging the flower buds before anthesis occurs, unless the plants are isolated (Storey, 1978). Also, the selection of segregating populations can reveal big possibilities of success, due to the big variability of genotypes and high heritability values (Silva *et al.*, 2017; Silva *et al.*, 2018).

andromonoicas son el mejor medio para mantener el abastecimiento de semillas puras, que darán árboles uniformes en las plantaciones, adoptando el método de embolsado de los botones florales antes que ocurra la antesis, a menos que las plantas se encuentren aisladas (Storey, 1978). Además, la selección de poblaciones segregantes pueden revelar grandes posibilidades de éxito, debido a la gran variabilidad de genotipos y altos valores de heredabilidad (Silva *et al.*, 2017; Silva *et al.*, 2018).

El objetivo del trabajo fue la selección de plantas andromonoicas del cultivar Maradol procedentes de diferentes fuentes y localidades, basada en las características morfológicas y agronómicas; así como la producción de semillas de buena calidad mediante autopolinizaciones, tomando en cuenta los problemas limitantes observados en las zonas productoras en los estados centrales de Venezuela. Estas actividades estuvieron enmarcadas dentro del Plan Nacional de Semillas, llevado a cabo dentro del INIA-CENIAP, Maracay, estado Aragua, durante el período 2008-2011.

Materiales y métodos

Diagnóstico en las zonas de producción de lechosa de los estados centrales

Entre los años 2008 y 2009, se seleccionaron 14 unidades de producción de los estados centrales Aragua (12), Carabobo (1) y Yaracuy (1) y en actividades directas con los productores, se recolectó la siguiente

The objective of the work was the selection of andromonoecious plants of the Maradol cultivar from different sources and localities, based on the morphological and agronomic features; as well as the production of good quality seeds through self-pollinations, taking into account the limiting problems observed in the producing areas in the central states of Venezuela. These activities were framed within the Plan Nacional de semillas, carried out within INIA-CENIAP, Maracay, Aragua state, during the 2008-2011 period.

Materials and methods

Diagnosis in the papaya production areas of the central states

Between the years of 2008 and 2009, 14 production units from the central states Aragua (12), Carabobo (1) and Yaracuy (1) were selected and in direct activities with the producers, the following information of interest was collected: cultivar used, distance sowing, agronomic management, problems that affected production, among others. The production units are located in Aragua state, in the localities of the Valles de Tucutunemo, San Francisco de Asís and Sector Casa Blanca in Múcura I, of Zamora municipality; Ocumare de la Costa of the Costa de Oro municipality and San Sebastián de los Reyes of the San Sebastián municipality. In Carabobo state, in the Montalbán municipality, and in Yaracuy state, La Guarura sector of the Salom municipality.

información de interés: cultivar utilizado, distancia de siembra, manejo agronómico, problemas que afectaron la producción, entre otros. Las unidades de producción se encontraron localizadas en el estado Aragua, en las localidades de los Valles de Tucutunemo, San Francisco de Asís y Sector Casa Blanca en Múcura I, del municipio Zamora; Ocumare de la Costa del municipio Costa de Oro y San Sebastián de los Reyes del municipio San Sebastián. En el estado Carabobo, en el municipio Montalbán y en el estado Yaracuy, en el Sector la Guarura del municipio Salom.

Selección de plantas andromonoicas

A partir del año 2008, se comenzó la selección de plantas andromonoicas en poblaciones de 'Maradol' en el INIA-CENIAP, a partir de diferentes fuentes: 1) frutos de plantas híbridas de semillas del Caribe®; 2) frutos seleccionados de una población 'Maradol'; y 3) callos embriogénicos *in vitro*, donados por el Instituto de Biotecnología de Plantas (IBP) de la Universidad Central Martha Abreu de las Villas, Cuba.

Un total de 162 plantas de estas poblaciones en primera generación, producidas por semillas o embriones somáticos *in vitro* fueron sembradas en campo y en condiciones protegidas. Las localidades se escogieron tomando en cuenta la ausencia de plantas enfermas con síntomas de virosis o bacteriosis, y se seleccionaron las plantas andromonoicas, de acuerdo con 14 criterios, previamente acordados para la fase vegetativa, de floración y de fructificación

Selection of andromonoecious plants

Since the year of 2008, the selection of andromonoecious plants started in populations of "Maradol" at INIA-CENIAP, from different sources: 1) fruits of hybrid plants of Caribe® seeds; 2) Fruits selected from a "Maradol" population; and 3) *In vitro* embryogenic calluses, donated by the Instituto de Biotecnología de Plantas (IBP) of La Universidad Central "Martha Abreu" de las Villas, Cuba.

A total of 162 plants from these populations in the first generation, produced by seeds or *in vitro* somatic embryos were sown in the field and under protected conditions. The localities were chosen taking into account the absence of diseased plants with symptoms of virosis or bacteriosis, and the andromonoecious plants were selected, according to 14 criteria, previously agreed for the vegetative, flowering and fruiting phase (table 1). Also, 35 qualitative and quantitative features were considered using the International Board of Plant Genetic Resources (IBPGR, now Biodiversity International) (1988) descriptor for papaya for the characterization of the stem, leaf, flower and fruit: growth habit (HT), Stem color in the middle part (CT), stem pigmentation (PT), stem wartiness (VT), wartiness distribution (DVT), number of nodes (NNFt) at the first flower, stem diameter at harvest (DTt, in cm) and height of the plant at harvest (APt, in cm), color of the petiole (CP), length of the leaf petiole (LPH, in cm), diameter of the petiole (DPh, in mm), width of the mature leaf (AHM, in cm), length

(cuadro 1). Además, se consideraron 35 características cualitativas y cuantitativas empleando el descriptor para lechosa del International Board of Plant Genetic Resources (IBPGR, ahora Biodiversity International) (1988) para la caracterización del tallo, hoja, flor y fruto: hábito de crecimiento (HT), color del tallo en la parte media (CT), pigmentación del tallo (PT), verrugosidad del tallo (VT), distribución de la verrugosidad (DVT), número de nudos (NNFt) a la primera flor, diámetro del tallo a cosecha (DTt, en cm) y altura de la planta a cosecha (APt, en cm), color del peciolo (CP), longitud del peciolo de la hoja (LPH, en cm), diámetro del peciolo (DPh, en mm), ancho de la hoja madura (AHM, en cm), longitud de la nervadura central (LNCh, en cm), forma del lobo central de la hoja (FLCH), hendidura de los lobos (HL), color del limbo de la hoja haz (CLHH), forma del seno proximal del peciolo (FSP), número de lobos (NLh), tipo de hermafroditismo (TH), tipo de floración (TF), ramificación de la inflorescencia (RI), presencia de brácteas en el pedúnculo (PBP), color de la corola (CC), color del pedúnculo (CP), color de la piel del fruto maduro (CPF), pigmentación secundaria del fruto (PSF), forma de inserción del pedúnculo en fruto (FIPF), textura del fruto (TF), forma del fruto (FF), peso del fruto (PF, en gramos), longitud del fruto (LF, en cm), diámetro del fruto (DF, en cm), forma de la cavidad central del fruto (FCCF), diámetro de la cavidad central del fruto (DCCF, en cm), longitud de la cavidad central del

of the central rib (LNCh, in cm), shape of the central leaf lobe (FLCH), cleft of the lobes (HL), color of the leaf blade limb (CLHH), shape of the proximal petiole sinus (FSP), number of lobes (NLh), type of hermaphroditism (TH), type of flowering (TF), branching of the inflorescence (IR), presence of bracts on the peduncle (PBP), color of the corolla (CC), color of the peduncle (CP), skin color of the ripe fruit (CPF), secondary pigmentation of the fruit (PSF), shape of peduncle insertion in fruit (FIPF), fruit texture (TF), fruit shape (FF), fruit weight (PF, in grams), fruit length (LF, in cm), fruit diameter (DF, in cm), shape of the central fruit cavity (FCCF), diameter of the central fruit cavity (DCCF, in cm), length of the central fruit cavity (LCCF, in cm) and width of the pulp (AP, in cm). For measurements: In cm, a tape measure was used and in mm, a vernier; and for the qualitative characteristics the scale proposed by the IBPGR was used. At least five measurements per characteristic were taken for each selected plant.

A total of 144 plants from seeds of the population of Valle Tucutunemo, in the second generation of selection, were planted and evaluated in the open field at Empresa de Producción Social Los Tacariguas, Guacara sector, Carabobo state. For the selection of the plants, 44 qualitative and quantitative characteristics were considered using the IBPGR descriptor for papaya (1988); also adding: length of the inflorescence peduncle (LPIf, in cm), length of bracts (LBf, in mm), length of

fruto (LCCF, en cm) y ancho de pulpa (AP, en cm). Para las mediciones: en cm, se utilizó una cinta métrica y en mm, un vernier; y para las características cualitativas se usó la escala propuesta por el IBPGR. Se tomaron al menos cinco mediciones por característica para cada planta seleccionada.

hermaphrodite flower (LFHf, in cm), length of staminate flower (LFEf, in cm), length of sepals (LSf, in mm), calyx tube length (LTCf, in cm), petal length (LPf, in cm) and number of fruits (NFT). The identification of each selected plant was according to the number of row and corresponding plant.

Cuadro 1. Criterios para la selección de plantas de lechosa según Alonso *et al.* (2009).

Table 1. Criteria for the selection of papaya plants according to Alonso *et al.* (2009).

criterio	Descripción
1	Inicio a floración entre 3-4 meses
2	Altura de floración menor a 1 m
3	Proporción de plantas ginoicas y andromonoicas
4	Bajo porcentaje de esterilidad
5	Inicio fructificación menor a 4 meses
6	Altura de planta a la cosecha menor a 2 m
7	Plantas sanas y vigorosas
8	Con más de 40 frutos
9	Fructificación a lo largo de la planta
10	Rendimientos entre 84,5 y 86,2 kg.año ⁻¹
11	Peso de fruto entre 1,6 y 2,2 kg
12	Forma de fruto alargado
13	Ancho pulpa mayor a 3 cm
14	Pulpa naranja-rojiza

Un total de 144 plantas procedentes de semillas de la población del Valle de Tucutunemo, en segunda generación de selección, se sembraron y evaluaron a campo abierto en la Empresa de Producción Social Los Tacariguas, sector Guacara, estado Carabobo. Para la selección

Statistical analysis

For the quantitative morphological characterization, five measurements were taken. An analysis of variance (ANAVAR) and a means test by Tukey ($\alpha = 0.05$) were performed in the second generation, according to Montgomery (1991). In

de las plantas se consideraron 44 características cualitativas y cuantitativas empleando el descriptor para lechosa del IBPGR (1988); adicionándose además: longitud del pedúnculo de la inflorescencia (LPIf, en cm), longitud de brácteas (LBf, en mm), longitud de flor hermafrodita (LFHf, en cm), longitud del flor estaminada (LFEf, en cm), longitud de sépalos (LSf, en mm), longitud del tubo del cáliz (LTCf, en cm), longitud de los pétalos (LPf, en cm) y número de frutos (NFT). La identificación de cada planta seleccionada fue de acuerdo con el número de hilera y planta correspondiente.

Análisis estadístico

Para la caracterización morfológica cuantitativa se tomaron cinco mediciones. A la segunda generación se le realizó un análisis de la varianza (ANAVAR) y prueba de medias por Tukey ($\alpha=0,05$), según Montgomery (1991). Además, se realizó un análisis de componentes principales de la varianza total (ACP). En la tabulación y procesamiento de los datos, se emplearon la hoja electrónica de cálculo Microsoft® Excel (2007) y el software estadístico Infostat (2002).

Autopolinizaciones de las plantas seleccionadas

Se realizaron autopolinizaciones en flores hermafroditas elongatas de las plantas seleccionadas, tapando con bolsas de papel pequeñas (15 cm de largo y 8 cm de ancho), hasta que el ovario se fecundara. En el caso de flores pentandrias, al abrir la flor se polinizaron con su propio polen o polen de otras flores de la misma planta, tomándose las anteras de cinco flores

addition, an analysis of principal components of total variance (ACP) was performed. In the tabulation and data processing, the electronic spreadsheet Microsoft® Excel (2007) and the statistical software Infostat (2002) were used.

Self-pollinations of plants selected

Self-pollinations were carried out on elongated hermaphrodite flowers of the selected plants, covering with small paper bags (15 cm long and 8 cm wide), until the ovary was fertilized. In the case of pentandrian flowers, when they opened the flower they pollinated themselves with their own pollen or pollen from other flowers of the same plant, taking the anthers of five flowers and gently shaking them over the stigma, as described by Alonso (1946). The event and date were identified. The number of curdled fruits was recorded.

Results and discussion

Diagnosis of production areas in the central states

In the 14 sampled production units, five hybrid genetic materials sown were identified: Red Maradol (2/14), Carmen (2/14) and Red Lady (1/14); cultivars: Cartagena Roja (4/14), Red Maradol (2/14); undefined materials: 5/14. This information indicated the prevalent use of imported hybrid seeds in production units of longest surface, from 1.5 to 5 ha, and national seeds in smaller production units, from 1.5 to 2 ha. In most of the production units, fruits of orange pulp (mesocarp) were found (13/14) and only in one of these,

y agitándolas suavemente sobre el estigma, tal y como lo describió Alonso (1946). Se identificó el evento y la fecha. Se registró el número de frutos cuajados.

Resultados y discusión

Diagnóstico de las zonas de producción en los estados centrales

En las 14 unidades de producción muestreadas, se identificaron cinco materiales genéticos sembrados, híbridos: Maradol Roja (2/14), Carmen (2/14) y Red Lady (1/14); cultivares: Cartagena Roja (4/14), Maradol Roja (2/14); materiales no definidos: 5/14. Esta información indicó el uso prevalente de semillas híbridas importadas en las unidades de producción de mayor superficie, de 1,5 a 5 ha, y de semillas nacionales en unidades de producción más pequeñas, de 1,5 a 2 ha. En la mayoría de las unidades de producción, se encontraron frutos de pulpa (mesocarpo) anaranjada (13/14) y solo en una de estas, se encontraron frutos de pulpa amarilla, en un material de origen desconocido. Esta tendencia ha sido señalada por otros autores como Aular y Casares (2011), quienes mencionaron que ha habido un gran avance tecnológico en este cultivo en el país, y que en las plantaciones comerciales se incluyen las prácticas de sustitución de la papaya criolla por semillas certificadas del grupo 'Maradol' y la siembra de dos o más plantas por punto para garantizar el mayor número de plantas hermafroditas. La misma situación

fruits of yellow pulp were found, in a material of unknown origin. This trend has been pointed out by other authors such as Aular and Casares (2011), who mentioned that there has been a big technological advance in this crop in the country and that in commercial plantations the practices of substituting Creole papaya for seeds are included, certified from the "Maradol" group and the sowing of two or more plants per point to guarantee the highest number of hermaphrodite plants. The same situation has occurred in other countries, such as Mexico, where improved cultivars and hybrids predominate over native varieties, the latter being found only in family gardens for self-consumption (Hernández *et al.*, 2019).

Among the main problems identified in the production units, the following can be mentioned:

1. The sowing of unselected cultivars in five plots or small "Conucos" (most common indigenous term to name the place where food is planted) with 4 four to 100 plants that looked heterogeneous.

2. High incidence of PRSV in 7 of the production units visited, affecting all the materials "Carmen", "Maradol", "Red Lady" and "Cartagena Roja" in the states of Aragua and Carabobo.

3. Low incidence of bacteriosis, affecting "Maradol" plants in Carabobo state, and the presence of the *Asperisporium caricae* fungus in fruits of the Cartagena cultivar, in Yaracuy state.

4. Male plants were found only in a local population of Cartagena and

ha ocurrido en otros países, como México, donde predominan los cultivares mejorados e híbridos sobre las variedades nativas, encontrándose estas últimas solamente en huertas familiares para autoconsumo (Hernández *et al.*, 2019).

Entre los problemas principales identificados en las unidades de producción, se pueden mencionar los siguientes:

1. La siembra de cultivares no seleccionados en cinco parcelas o conucos pequeños con apenas cuatro a 100 plantas que lucieron heterogéneas.

2. Alta incidencia de PRSV en siete de las unidades de producción visitadas, afectando todos los materiales 'Carmen', 'Maradol', 'Red Lady' y 'Cartagena Roja' en los estados Aragua y Carabobo.

3. Baja incidencia de la bacteriosis, afectando plantas 'Maradol' en el estado Carabobo, y la presencia del hongo *Asperisporium caricae* en frutos del cultivar Cartagena, en el estado Yaracuy.

4. Se encontraron plantas masculinas solo en una población local de Cartagena y otra criolla; así como frutos carpeloides en el híbrido Red Lady.

En este estudio se corrobora que el PRSV continúa siendo un problema severo en lo que respecta a la sanidad del cultivo en Venezuela, y que la bacteriosis también afecta. Esta última debe ser tomada en cuenta debido a que puede ser diseminada por la semilla (Maselli, *et al.*, 2010; Fernández, *et al.*, 2008)

another Creole; as well as carpeloid fruits in the Red Lady hybrid.

This study corroborates that PRSV continues being a severe problem regarding to crop health in Venezuela, and that bacteriosis also affects. This latter must be taken into account because it can be spread by the seed (Maselli, *et al.*, 2010; Fernández, *et al.*, 2008)

Selection of andromonoecious plants

From the 306 plants sown in the four assays, 17 andromonoecious plants were selected, which fulfilled most of the previously agreed criteria for the vegetative, flowering and fruiting phases (Alonso *et al.*, 2009): Beginning of flowering between the three and four months from transplanting to the field, flowering height less than 80 cm, expected ratio of gynoic/andromonoecious plants (2:1), except for plants from tissue culture, which were andromonoecious, and there were no plants with male flowers, low percentage of sterility, initiation of fruiting before four months, height from plant to harvest < 2 m, robust appearance plants, large deep green leaves, fruiting throughout the plant, elongated and smooth fruits, width of pulp > 3 cm, and orange-reddish pulp (tables 1 and 2).

The plants of population 1 had an APt between 1.4 and 1.7 m, population 2 between 1.43 to 1.8 m and population 3 from 1.80 to 1.84 m. Although the number of fruits on the tree stem was low for the first two populations from 38 to 45 for population 1 and from 20 to 38 in population 2, the estimated

Selección de plantas andromonoicas

De las 306 plantas sembradas en los cuatro ensayos se seleccionaron 17 plantas andromonoicas, las cuales cumplieron con la mayoría de los criterios previamente acordados para las fases vegetativa, floración y fructificación (Alonso *et al.*, 2009): Inicio a floración entre los tres y cuatro meses del trasplante a campo, altura de floración menor de 80 cm, proporción de plantas ginoicas/andromonoicas esperada (2:1), a excepción de las plantas procedentes de cultivo de tejidos, las cuales fueron andromonoicas, y no hubo plantas con flores masculinas, bajo porcentaje de esterilidad, iniciación de la fructificación antes de los cuatro meses, altura de planta a cosecha < a 2 m, plantas de apariencia robusta, hojas grandes de color verde intenso, fructificación a lo largo de la planta, frutos alargados y lisos, ancho de pulpa > a 3 cm y, pulpa naranja-rojiza (cuadros 1 y 2).

Las plantas de la población 1 tuvieron una APt entre 1,4 y 1,7 m, la población 2 entre 1,43 a 1,8 m y la población 3 de 1,80 a 1,84 m. Aunque el número de frutos en el tronco fue bajo para las dos primeras poblaciones, de 38 a 45 para la población 1 y de 20 a 38 en la población 2. Los rendimientos promedios estimados se encontraron dentro o ligeramente superiores al rango esperado (84,5 y 86,2 kg), siendo de 88,3 kg para la población 1 y 86,64 kg para la población 2. En la población 3, aun cuando presentó un mayor número de frutos, entre

average yields were within or slightly above the expected range (84.5 and 86.2 kg), being 88.3 kg for population 1 and 86.64 kg for population 2.

In population 3, even though it presented a higher number of fruits, between 52 and 56, the estimated yields were of 66.3 kg, well below that described for the Maradol cultivar by Alonso *et al.* (2009) (data not shown).

The 24 qualitative characteristics of the stem, leaf, flower and fruit were similar in population selections 1, 2 and 3: single stems, green to light gray or gray-brown in the middle part; green pigmentation of young stem (not suberized); little wartiness distributed at the base or throughout the internodes; hollow structure of petiole, pale green color, some with purple spots; shape of the central blade lobe sharp; deep cleft of lobes; leaf blade color green or dark green; shape of the proximal sinus of the closed or peeled petiole. Hermaphroditic type of tree with staminate flowers and few hermaphrodite flowers; type of flowering in inflorescences; branching of the intermediate inflorescence of 3 to 10 flowers; green color of peduncle and presence of bracts; corolla of cream color. Skin color of the ripe fruit from strong yellow to orange, with secondary green pigmentation; smooth fruit texture and in some cases intermediate; depressed, flattened, or pointy form of peduncle insertion. The fruits were elongated, with the obtuse apex and round central cavity (data not shown). However, in other studies that compared dioic genotypes of papaya and wild species of *Vasconcellea* (*V. cauliflora* and

52 y 56, los rendimientos estimados fueron de 66,3 kg, muy por debajo a lo descrito para el cultivar Maradol por Alonso *et al.* (2009) (datos no mostrados).

V. cundinamarcensis) they found significant variations in some of the qualitative characteristics, such as stem color, petiole color, shape of the proximal petiole sinus, leaves shape,

Cuadro 2. Descripción de las cuatro poblaciones de lechosa ‘Maradol’, a partir de las cuales se seleccionaron plantas andromonoicas.

Table 2. Description of the four “Maradol” papaya populations, from which andromonoecious plants were selected.

Población	Localidad	Procedencia	Año	N° plantas sembradas	N° plantas seleccionadas	Andromonoicas/ Ginoicas	Generación
1	San Francisco de Asís, estado Aragua	Plantas híbridas,	2008-2009	56	03	2:1	I
		semillas del Caribe®					
2	Valle de Tucutunemo, estado Aragua	Frutos seleccionados en población	2009-2010	96	07	2:1	I
3	Unidad de Recursos Fitogenéticos, estado Aragua en casa de malla	Callo embriogénico <i>In vitro</i>	2010	10	02	1:0 (Todas andromonoicas)	I
4	Empresa de Producción Socialista Los Tacarigua, estado Carabobo	Plantas seleccionadas en Valle de Tucutunemo	2010-2011	144	05	2:1	II
Total				306	17		

Las 24 características cualitativas del tallo, hoja, flor y fruto, fueron similares en las selecciones de la población 1, 2 y 3: tallos únicos, de color verde a gris claro o gris-marrón en la parte media; pigmentación verde del tallo joven (no suberizado); poca verrugosidad distribuida en

peduncle color of the inflorescence and flower color (Kaluram *et al.*, 2018).

In the San Francisco de Asís assay, the fruits from female flowers presented extremely small and round sizes, not very commercial. These fruits, out of type, were not observed in the other populations and this

la base o en todo el entrenudo; estructura hueca del peciolo, de color verde pálido, algunas con manchas púrpuras; forma del lobo central de la hoja agudo; hendidura de los lobos muy profunda; color del limbo de la hoja haz verde o verde oscuro; forma del seno proximal del peciolo cerrado o peltado. Tipo de hermafroditismo del árbol con flores estaminadas y pocas flores hermafroditas; tipo de floración en inflorescencias; ramificación de la inflorescencia intermedia de 3 a 10 flores; color del pedúnculo verde y presencia de brácteas; color de la corola crema. Color de la piel del fruto maduro de amarillo fuerte a naranja, con pigmentación secundaria verde; textura del fruto lisa y en algunos casos intermedia; forma de inserción del pedúnculo deprimida, aplanada o punteaguda. Los frutos fueron elongados, con el ápice obtuso y cavidad central redonda (datos no mostrados). Sin embargo, en otros estudios que compararon genotipos dioicos de lechosa y especies silvestres de *Vasconcellea* (*V. cauliflora* y *V. cundinamarcensis*) encontraron variaciones significativas en algunas de las características cualitativas, tales como color del tallo, color del peciolo, forma del seno proximal del peciolo, forma de las hojas, color del pedúnculo de la inflorescencia y color de la flor (Kaluram *et al.*, 2018).

En el ensayo de San Francisco de Asís, los frutos procedentes de flores femeninas presentaron tamaños extremadamente pequeños y redondos, poco comerciales. Estos frutos, fuera de tipo, no se observaron en las demás poblaciones y esto

was possibly due to the hybrid origin of this seed. These gynoid plants were not considered and self-pollinations were carried out with elongate-type hermaphrodite flowers perfect for obtaining seeds for successive generations.

During the period between 2010-2011, in the assay of Empresa de Producción Socialista Los Tacariguas, from the 144 plants planted (population 4), the five most prominent andromonoecious plants were selected according to their morphological and agronomic features, called H23-15, H23-19, H24-11, H26-8 and H33-2 (table 2).

The qualitative characteristics of the stem, leaf, flower and fruit were similar in the selected plants of population 4: single stems, gray-brown color in the middle part, and green pigmentation of the young stem (not suberized), with little wartiness distributed in the base of the selections H23-15 and H33-2 and throughout the internode for the rest. Green and purple petiole, shape of central lobe of the leaf sharp, cleft of the lobes very deep, leaf blade color dark green, and shape of the proximal sinus of the closed petiole. Hermaphroditism type of tree with staminate flowers and few hermaphrodite flowers; type of flowering in inflorescences, with ramification of the intermediate inflorescence of 3 to 10 flowers; green peduncle with presence of bracts and corolla of cream color. Strong yellow to orange skin color of ripe fruit, with secondary green pigmentation; smooth fruit texture, round central fruit cavity and depressed peduncle insertion shape.

posiblemente se debió a la procedencia híbrida de esta semilla. Estas plantas ginóicas no fueron consideradas y se realizaron autopolinizaciones con flores hermafroditas tipo elongata perfecta para la obtención de semillas para las sucesivas generaciones.

Durante el período 2010-2011, en el ensayo de la Empresa de Producción Socialista Los Tacariguas, de las 144 plantas sembradas (población 4), se seleccionaron las cinco plantas andromonoicas más destacadas de acuerdo con sus características morfológicas y agronómicas, denominadas H23-15, H23-19, H24-11, H26-8 y H33-2 (cuadro 2).

Las características cualitativas del tallo, hoja, flor y fruto fueron similares en las plantas seleccionadas de la población 4: tallos únicos, de color gris-marrón en la parte media, pigmentación verde del tallo joven (no suberizado), con poca verrugosidad distribuida en la base de las selecciones H23-15 y H33-2 y en todo el entrenudo para las restantes. Color del peciolo verde y púrpura, forma del lobo central de la hoja agudo, hendidura de los lobos muy profunda, color del limbo de la hoja haz verde oscuro, y forma del seno proximal del peciolo cerrado. Tipo de hermafroditismo del árbol con flores estaminadas y pocas flores hermafroditas; tipo de floración en inflorescencias, con ramificación de la inflorescencia intermedia de 3 a 10 flores; color del pedúnculo verde con presencia de brácteas y, color de la corola crema. Color de la piel del fruto maduro amarillo fuerte a naranja, con pigmentación secundaria verde; textura del fruto lisa, cavidad central

Regarding to the shape of the fruit, these were elongated in selections H24-11 and H26-8; between cylindrical and elongated for H33-2; cylindrical at 23-15 and piriform at H23-19. These qualitative characteristics were similar to the population of the Tucutunemo Valley that gave rise to them. Alonso *et al.* (2009) mention that the typical fruits of the Maradol cultivar would be elongated, however, consumers and producers also prefer cylindrical and piriform forms with a smaller internal cavity than that produced by the fruits of female plants and therefore of higher value of the market due to its weight and resistance to handling (Silva *et al.*, 2018).

The analysis of principal components showed clearly how there is a wide variability between the selected materials, highlighting each of them by a group of highly related quantitative variables.

In the case of H23-15 it was observed how this material was characterized by the high relationship between APt and NNft. H33-2 and H23-19 shared similarities in stem, leaf, flower and fruit characteristics, such as: DTt, LCCf, LTCf, LPf, and LNCHh; coinciding the LCCf with the elongated fruits of H33-2 and the piriformis of H23-19. In selection H24-11, high values were observed in morphological variables of stem, leaves, flowers and fruits, such as: DPh, LPHh, AHMh, LBf and DVT, together with a high API, common in elongated fruits. For its part, H26-8 was the selection with the highest NFT, characterized by the presence of

del fruto redonda y forma de inserción del pedúnculo deprimida.

Con respecto a la forma del fruto, estos fueron elongados en las selecciones H24-11 y H26-8; entre cilíndricos y elongados para H33-2; cilíndricos en 23-15 y piriformes en H23-19. Estas características cualitativas fueron similares a la población de procedencia del Valle de Tucutunemo que les dio origen. Alonso *et al.* (2009) mencionan que los frutos típicos del cultivar Maradol serían elongados, sin embargo, los consumidores y productores también prefieren las formas cilíndricas y piriformes con una cavidad interna menor que la producida por los frutos de las plantas femeninas y por lo tanto de mayor valor de mercado por su peso y resistencia al manejo (Silva *et al.*, 2018).

El análisis de componentes principales dejó ver claramente como existe una amplia variabilidad entre los materiales seleccionados, resaltando cada uno de ellos por un grupo de variables cuantitativas altamente relacionadas.

En el caso de H23-15 se observó como este material se caracterizó por la alta relación entre la APt y el NNft. H33-2 y H23-19 compartieron similitudes en características del tallo, hoja, flor y frutos, tales como: DTt, LCCf, LTCf, LPf, y LNCHh; coincidiendo la LCCf con los frutos elongados de H33-2 y los piriformes de H23-19. En la selección H24-11 se observaron valores altos en variables morfológicas de tallo, hojas, flores y frutos, como: DPh, LPHh, AHMh, LBf y DVT, aunado a un alto API, común

elongated fruits and lower LPf (figure 1).

Significant differences were observed between the selections regarding to eight variables, standing out H33-2 with the highest values related to the leaves (LPHh, DPh, AHMh, LNCh), followed by H23-15 and H24-11. In the same way, these three materials presented flowers of larger (higher) size (LPIf, LTCf, LPf). H23-15 stands out in terms of LCCf, regarding to the other plants. Materials H23-19 and H26-8 had the lowest values of these characteristics (table 3).

On the other hand, there were no significant differences between selections in relation to the characteristics: NLh between 11 and 11.60 ($p=0.18$); LBf between 0.82 and 1.48 mm ($p=0.11$); LFHf, between 4.46 and 4.70 cm ($p=0.24$); LFEf between 3.76 and 4.10 cm ($p=0.50$); LSf, between 0.20 and 0.32 mm ($p=0.64$), PF between 1.42 and 1.80 kg ($p=0.85$); LF between 21.25 and 24.75 cm ($p=0.35$); DF between 11.04 and 13 cm ($p=0.78$), although the average of the longest and widest fruit corresponds to the material H23-15; DCCF between 4 and 4.98 cm ($p=0.96$) and APD between 3.25 and 3.65 ($p=0.75$).

Regarding to the quantitative characteristics of yield, of the five plants selected, the selections H23-15, H33-2 and H26-8 stood out for producing 50, 51 and 64 fruits; with average weights 1.7; 1.8 and 1.5 kg, respectively. The estimated yields were between 83 and 98.5 kg.plant⁻¹. These plants also had the highest

en frutos elongados. Por su parte, H26-8 fue la selección con el mayor NFT, caracterizada por la presencia de frutos de forma elongada y menor LPf (figura 1).

number of nodes to the first flower, 109 to 122. The H33-2 selection had the highest DTt (64 cm) and flowering height (78 cm) and also, higher leaf and flower dimensions. Selection H26-

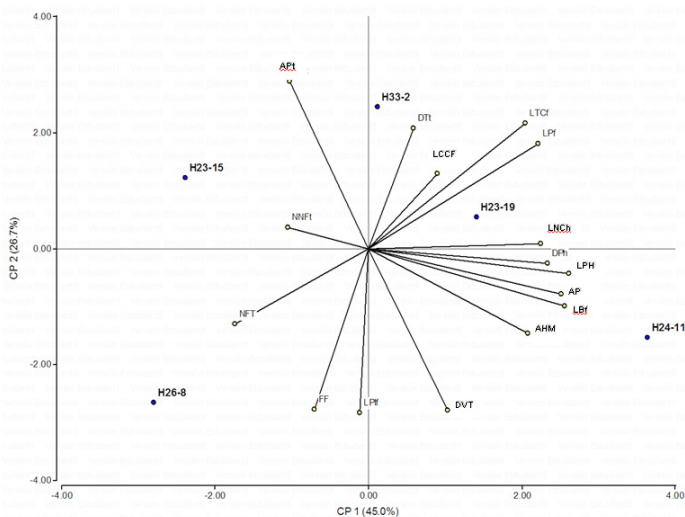


Figura 1. Distribución de las 16 variables originales sobre los componentes principales de las plantas de lechosa seleccionadas en la Empresa de Producción Social Los Tacariguas. Apt: Altura de planta a cosecha; DTt: Diámetro del tallo a cosecha; LCCf: Longitud cavidad central de fruto; LTCf: Longitud tubo del cáliz; LPf: Longitud de pétalos; LNCH: Longitud de la nervadura central; DPh: Diámetro del peciolo; LPH: Longitud del peciolo de la hoja; LBF: Longitud de brácteas; AP: ancho de pulpa izquierda; NNft: Número de nudos a la primera flor; AHM: Ancho de la hoja madura; DVT: Distribución de la verrugosidad del tallo; LPIf: Longitud del pedúnculo de la inflorescencia; NFT: Número de frutos; FF: Forma del fruto.

Figure 1. Distribution of the 16 original variables about papaya plants selected at Empresa de Producción Social Los Tacariguas. Apt: Height plant at harvest; DTt: Diameter of the stem at harvest; LCCf: Length of the central cavity of the fruit; LTCf: Calyx tube length; LPf: Length of petals; LNCH: Length of the central rib; DPh: Petiole diameter; LPH: length of leaf petiole; LBF: Length of bracts; AP: width of left pulp; NNft: Number of nodes to the first flower; AHM: Width of the mature leaf; DVT: Distribution of stem wartiness; LPIf: Length of the peduncle of the inflorescence; NFT: Number of fruits; FF: Fruit shape.

Se observaron diferencias significativas entre las selecciones con respecto a ocho variables, destacándose H33-2 con los mayores valores relacionados con las hojas (LPHh, DPh, AHMh, LNCh), seguido de H23-15 y H24-11. De la misma manera, estos tres materiales presentaron flores de mayor tamaño (LPIf, LTCf, LPf). Se destaca H23-15 en cuanto a la LCCf, con respecto a las demás plantas. Los materiales H23-19 y H26-8 tuvieron los menores valores de estas características (cuadro 3).

8 obtained the smallest dimensions of the leaf, flower and stem; however, it had the highest amount of fruit. All the selections had APt less than or equal to 2 m. The selections H23-19 and H24-11 produced lower amount fruits, 30 and 45 fruits.plant⁻¹ from 1.4 to 1.5 kg; and the estimated yields were the lowest, from 42.5 to 67.8 kg; respectively NNFt was also less than 87 and 106.

Kaluham *et al.* (2018) point out that the papaya germplasm shows moderate to high variation in morphological characteristics,

Cuadro 3. Valores medios de las variables cuantitativas significativas en plantas de lechosa seleccionadas en la Empresa de Producción Socialista Los Tacariguas, Guacara, estado Carabobo.

Table 3. Medium values of the significant quantitative variables in selected papaya plants in at Empresa de Producción Socialista Los Tacariguas , Guacara, Carabobo state.

Selección	LPH (cm)	DPh (mm)	AHM (cm)	LNCh (cm)	LPIf (cm)	LTCf (cm)	LPf (cm)	LCCF (cm)
H33-2	100,40 a	17,79 a	84,50 a	57,50 a	1,68 ab	1,42 a	2,96 a	14,33 b
H23-15	87,30 b	15,01 bc	71,18 b	49,54 b	1,74 ab	1,46 a	3,12 a	19,00 a
H24-11	86,00 b	16,17 b	70,50 b	54,70 a	1,54 ab	1,44 a	3,02 a	16,10 ab
H23-19	76,60 c	14,40 c	70,64 b	47,36 b	1,92 a	1,22 b	2,00 c	14,33 b
H26-8	74,40 c	14,10 c	70,50 b	45,34 b	1,46 b	1,34 ab	2,38 b	14,00 b
CV	4,79	5,08	7,09	4,76	12,52	5,44	6,18	4,91
R ²	0,84	0,74	0,50	0,78	0,31	0,56	0,87	0,74
p	0,00**	0,00**	0,00**	0,00**	0,02*	0,00**	0,00**	0,00**

*Valores con letras iguales en las columnas no son estadísticamente significativos (P>0,05). LPH: Longitud del peciolo de la hoja; DPh: Diámetro del peciolo de la hoja; AHM: Ancho de la hoja madura; LNCh: Longitud de la nervadura central; LPIf: Longitud del pedúnculo de la inflorescencia; LTCf: Longitud tubo del cáliz; LPf: Longitud pétalos; LCCF: Longitud cavidad central del fruto.

* Values with equal letters in the columns are not statistically significant (P>0.05). LPH:Leaf petiole length; DPh: Diameter of leaf petiole; AHM:Ripe leaf width; LNCh:Center rib length; LPIf:Inflorescence peduncle length; LTCf:Calyx tube length; LPf:Petals length; LCCF: Central cavity length of the fruit.

Por otro lado, no hubo diferencias significativas entre selecciones con relación a las características: NLh entre 11 y 11,60 ($p=0,18$); LBf entre 0,82 y 1,48 mm ($p=0,11$); LFHf, entre 4,46 y 4,70 cm ($p=0,24$); LFEf entre 3,76 y 4,10 cm ($p=0,50$); L Sf, entre 0,20 y 0,32 mm ($p=0,64$), PF entre 1,42 y 1,80 kg ($p=0,85$); LF entre 21,25 y 24,75 cm ($p=0,35$); DF entre 11,04 y 13 cm ($p=0,78$), aunque el promedio de fruto más largo y ancho correspondió con el material H23-15; DCCF entre 4 y 4,98 cm ($p=0,96$) y APD entre 3,25 y 3,65 ($p=0,75$).

Con respecto a las características cuantitativas de rendimiento, de las cinco plantas seleccionadas se destacaron las selecciones H23-15, H33-2 y H26-8 por producir 50, 51 y 64 frutos; con pesos promedios 1,7; 1,8 y 1,5 kg, respectivamente. Los rendimientos estimados estuvieron entre 83 y 98,5 kg.planta⁻¹. Estas plantas además tuvieron el mayor número de nudos a la primera flor, 109 a 122. La selección H33-2 tuvo el mayor DTt (64 cm) y altura de floración (78 cm) y, además, mayores dimensiones de hoja, y de flor. La selección H26-8 obtuvo las menores dimensiones de la hoja, flor y tallo; sin embargo, tuvo la mayor cantidad de frutos. Todas las selecciones tuvieron APt menores o iguales a 2 m. Las selecciones H23-19 y H24-11 produjeron menor cantidad de frutos, 30 y 45 frutos.planta⁻¹, de 1,4 a 1,5 kg; y los rendimientos estimados fueron los más bajos, de 42,5 a 67,8 kg; respectivamente. NNFt también fue menor de 87 y 106.

Kaluham *et al.* (2018) señalan que el germoplasma de lechosa muestra

such as leaf shape and size, types of inflorescences and flowers, which vary according to the sex of the plant, shape and size of the fruit and the reaction to pests and diseases. They emphasize that the most diverse and economically important characteristics are related to flower and fruit, and they observed a significant amount of morphological diversity in petiole length, flower size, length and diameter of the fruit, index of the central cavity of the fruit and seed surface. On the other hand, Silva *et al.* (2017) obtained significant differences for all the variables evaluated, showing high genotypic variability between the accessions. The variables plant height, the height of the first insertion of the fruit, the greatest thickness of the fruit pulp, the length and diameter of the fruit presented heritability higher than 80 %, indicating that is possible to achieve significant advances in genetic improvement, through a simple selection process in the segregating generations. The variables fruit mass, fruit diameter and plant height were the ones with the highest contribution to genetic diversity. Therefore, these variables must be included in the plant breeding programs of the species. The IBPGR papaya descriptors were used in both references, but the materials evaluated were of very different types. In our research, the results indicated a high variability in some of the quantitative morphological characteristics analyzed, which can be explained by the different origins of the "Maradol" populations. This variability represents an advantage for the plant breeding of the cultivar,

de moderada a alta variación en las características morfológicas, tales como, forma y tamaño de la hoja, tipos de inflorescencias y flores, que varían de acuerdo al sexo de la planta, forma y tamaño del fruto y la reacción a plagas y enfermedades. Enfatizan que las características más diversas y económicamente importantes están relacionadas a la flor y al fruto, y observaron una cantidad significativa de diversidad morfológica en longitud del pecíolo, tamaño de la flor, longitud y diámetro de la fruta, índice de la cavidad central del fruto y superficie de la semilla. Por otro lado, Silva *et al.* (2017) obtuvieron diferencias significativas para todas las variables evaluadas, mostrando alta variabilidad genotípica entre las accesiones. Las variables altura de planta, la altura de primera inserción de fruto, el mayor grosor de la pulpa de la fruta, la longitud y el diámetro de la fruta presentaron una heredabilidad superior al 80 %, indicando que es posible lograr avances significativos en la mejora genética, mediante un sencillo proceso de selección en las generaciones segregantes. Las variables masa del fruto, diámetro del fruto y altura de la planta fueron las de mayor contribución a la diversidad genética. Por lo anterior estas variables deben ser incluidas en los programas de mejoramiento genético de la especie. En ambas referencias se usaron los descriptores de papaya del IBPGR, pero los materiales evaluados fueron de muy diversos tipos. En nuestra investigación, los resultados indicaron una alta variabilidad en algunas de las características

due to the high correlation between the phenological and production features, the high heritability of some of the characteristics and the inherent phenotypic plasticity in terms of sex, flowers and fruits that the papaya presents, as the reported by Kaluran *et al.* (2018) and Silva *et al.* (2018).

The 17 selected plants had morphological and agronomic features similar to those described for the Maradol cultivar (Ramos and Ramos, 2002; Alonso *et al.*, 2009), considering that in addition to the genetic profile, the edaphoclimatic conditions, and the agronomic management in each plot should be taken into account. These selections form the basis for knowing the characteristics of these populations and guiding the development of new genotypes. Nowadays they are kept at INIA to continue the selection and plants are supplied to farmers.

Conclusions

The selected plants showed similar quantitative and qualitative descriptive characteristics similar to those of Maradol cultivar, among them, they presented low height (less than 2 m), stem diameter up to 64 cm, number, weight, shape and color of fruits that allow to guarantee the requirements from the local market, and good yields. The significant variation in some of the quantitative variables, between and within populations, can be used to continue fixing some characters, through self-pollination, for the development of improved lines, adapted to our edaphoclimatic conditions.

morfológicas cuantitativas analizadas, que se puede explicar por las diferentes procedencias de las poblaciones de "Maradol". Esta variabilidad representa una ventaja para el mejoramiento genético del cultivar, dada la alta correlación entre los rasgos fenológicos y de producción, la elevada heredabilidad de algunas de las características y la inherente plasticidad fenotípica en cuanto a sexo, flores y frutos que presenta la lechosa, como lo reportan Kaluran *et al.* (2018) y Silva *et al.* (2018).

Las 17 plantas seleccionadas tuvieron características morfológicas y agronómicas similares a las descritas para el cultivar Maradol (Ramos y Ramos, 2002; Alonso *et al.*, 2009), considerando que además del perfil genético, habría que tomar en cuenta las condiciones edafoclimáticas, y el manejo agronómico en cada parcela. Estas selecciones constituyen la base para conocer las características de estas poblaciones y orientar el desarrollo de nuevos genotipos. Actualmente se conservan en el INIA para continuar la selección y se suministran plantas a los agricultores.

Conclusiones

Las plantas seleccionadas mostraron características descriptivas cuantitativas y cualitativas similares al cultivar Maradol, entre ellas, presentaron altura baja (menor de 2 m), diámetro del tallo de hasta 64 cm., número, peso, forma y color de frutos que permiten garantizar las exigencias del mercado local, y buenos rendimientos. La variación

Recommendations

The control of the plantations used for the selection is essential for the verification of the absence of bacterial diseases and the use of laboratory procedures for the screening of pathogens. Similar efforts should be made to select plants from other cultivars that are more tolerant to PRSV to satisfy demand in high incidence areas.

Financing source

Financing through the subproject "Plant breeding of the papaya *Carica papaya L.* in producing areas of the central, eastern and western areas of the country, using conventional techniques". Code ID-CNS-0800106 (Year 2008), and the action "Plant breeding of the papaya *Carica papaya L.* in producing areas of the central zone, using conventional and biotechnological techniques". Code 10-03-02-01 (Years 2009 to 2012). Plan Nacional de Semillas. INIA.

Table 1. Criteria for the selection of papaya plants according to Alonso *et al.* (2009).

Table 2. Description of the four "Maradol" papaya populations, from which andromonoecious plants were selected.

Table 3. Medium values of the significant quantitative variables in selected papaya plants in at Empresa de Producción Socialista Los Tacariguas, Guacara, Carabobo state.

Figure 1. Distribution of the 16 original variables about papaya plants

significativa en algunas de las variables cuantitativas, entre y dentro de las poblaciones puede ser usada para continuar fijando algunos caracteres, mediante autopolinizaciones, para el desarrollo de líneas mejoradas, adaptadas a nuestras condiciones edafoclimáticas.

Recomendaciones

La fiscalización de las plantaciones utilizadas para la selección es esencial para la verificación de la no presencia de enfermedades bacterianas y el uso de procedimientos de laboratorio para el despistaje de patógenos. Esfuerzos similares deben darse para la selección de plantas de otros cultivares que sean más tolerantes al PRSV para satisfacer la demanda en zonas de alta incidencia.

Fuente de financiación

Financiamiento a través del subproyecto “Mejoramiento genético de la lechosa *Carica papaya* L. en zonas productoras de la zona central, oriente y occidente del país, mediante técnicas convencionales. Código ID-CNS-0800106 (Año 2008), y la acción “Mejoramiento genético de la lechosa *Carica papaya* L. en zonas productoras de la zona central, mediante técnicas convencionales y biotecnológicas. Código 10-03-02-01 (Años 2009 al 2012). Plan Nacional de Semillas. INIA.

Literatura citada

Alonso, R. 1946. Observaciones sobre el cultivo y mejoramiento de la fruta bomba (*Carica papaya* L.). Est. Exp. Agron. Boletín N° 67. 160 p.

selected at Empresa de Producción Social Los Tacariguas. APt: Height plant at harvest; DTt: Diameter of the stem at harvest; LCCf: Length of the central cavity of the fruit; LTCf: Calyx tube length; LPf: Length of petals; LNCH: Length of the central rib; DPh: Petiole diameter; LPH: length of leaf petiole; LBf: Length of bracts; AP: width of left pulp; NNft: Number of nodes to the first flower; AHM: Width of the mature leaf; DVT: Distribution of stem wartiness; LPIf: Length of the peduncle of the inflorescence; NFT: Number of fruits; FF: Fruit shape.

End of English Version

Alonso, M., Y. Tornet, R. Ramos, E. Farres y D. Rodríguez. 2009. Evaluación de dos híbridos de papaya introducidos en Cuba. *Agronomía Costarricense* 32:267-274.

Aular, J. y M. Casares. 2011. Consideraciones sobre la producción de frutas en Venezuela. *Rev. Bras. Frutic.* 33: 187-198.

Confederación de Asociaciones de Producción Agropecuaria (FEDEAGRO). 2019. Estadísticas de producción. Disponible en: <https://fedeaagro.org/estadisticas-agricolas/produccion-agropecuaria/produccion/>. Fecha de consulta: febrero 2019

Fernández, T., L. Rubio, O. Carballo y E. Marys. 2008. Genetic variation of papaya ringspot virus in Venezuela. *Arch. Virol.* 153: 343-349.

Fundación Servicio para el Agricultor (FUSAGRI). 1984. La Lechosa. Serie Petróleo y Agricultura. N° 6. 70 p.

Hernández, G., A. Soto, E. García, A. Pérez, M. Rocandio y L. 2019. Córdova.

Variación morfológica *in situ* de *Carica papaya* nativa de México. Rev. Fitotec. Mex. 42 (1): 47-55.

International Board for Plant Genetic Resources (IBPGR). 1988. Descriptors for papaya. Rome. 34 p.

InfoStat. 2002. InfoStat, versión 1.1. Manual del Usuario. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba. Primera Edición, Editorial Brujas Argentina.

Kaluram, J., S. Singh, A. Goswami, P. Singh, Z. Hussain y A. Singh. 2018. Genetic diversity in qualitative and quantitative traits of papaya. Indian J. Hort., 75(2):165-171.

Maselli, A., C. Rosales, Y. Guevara y Z. Suarez. 2010. Comportamiento de materiales de los géneros *Carica* y *Vasconcellea* frente *Erwinia papayae*, *Meloidogyne incognita* y *Rotylenchulus reniformis*. Rev. Protección Veg. 25:157-165.

Medina, J. 1995. Cultura do mamoeiro. En Mamao. Serie Frutas Tropicais. 2^{da} Edición. ITAL-CAMPINAS. Brasil. 367p.

Microsoft Office Excel. 2007. Manual del usuario. Microsoft Corporation.

Montgomery, D. 1991. Diseño y Análisis de Experimentos. Grupo Edit. Iberoamérica. 351 p.

Ogata, T., S. Yamanaka, M. Shoda, N. Urasaki y T. Yamamoto. 2016. Current status of tropical fruit breeding and genetics for three tropical fruit species cultivated in Japan: pineapple, mango, and papaya. Breeding science, 66(1), 69-81.

Ramos, R. y J. Ramos. 2002. Instrucciones técnicas para el cultivo de la papaya Maradol Roja. Manual técnico. Ed. Empresa de Semillas, MINAG. Cuba. 34 p.

Rimberia, F., F. Ombwara, N. Mumo y E. Ateka. 2018. Genetic Improvement of papaya (*Carica papaya* L.). In: Al-Khayri, J. M., S. M. Jain y D. V. Johnson (Editors). Advances in Plant Breeding Strategies: Fruits. Volume 3. Springer, Cham., pp: 897-928.

Rivas, P., G. Mora, D. Téliz y A. Mora. 2003. Influencia de variedades y densidades de plantación de papayo (*Carica papaya* L.) sobre las epidemias de mancha anular. Rev. Mex. Fitopatol. 21:109-116.

Rodríguez, M., M. Alonso, Y. Tornet, L. Valero, E. Rainildes y R. Pérez. 2013. Evaluación de accesiones cubanas de papaya (*Carica papaya* L.) ante la mancha anular. Summa Phytopathol. 39(1):24-27.

Silva, C., A. Nascimento, J. Ferreira, O. Schimldt, R. Garcia Malikowski, R. Alexandre, G. Ferregueti y E. Schimldt. 2017. Genetic diversity among papaya accessions. Afr. J. Agric. Res. 12(23):2041-2048.

Silva, M., S. Leonel, J. Souza, J. Modesto, R. Ferreira y A. Bolfarini. 2018. Evaluation of papaya genotypes using agronomic descriptors and estimation of genetic parameters. Biosci. J., Uberlândia, 34(4):943-951.



Storey, W. 1978. Informe sobre el cultivo de la lechosa en Venezuela y recomendaciones para un programa de producción de semilla. FUDECO. Barquisimeto. 28 p.




Effect of duckweed meal dietary inclusion on growth performance and survival of African catfish fingerlings

Efecto de la inclusión de harina de lenteja de agua en dieta sobre el crecimiento y la supervivencia de los alevines de bagre Africano

Efeito da inclusão de farinha de lentilha d'água na dieta sobre o crescimento e sobrevivência de alevinos de bagre Africano

Yuniel Méndez-Martínez^{1*}, Yenny G. Torres Navarrete¹,
Yilian Pérez Tamames², Misleidi Romás Viltres², Edilmar
Cortés-Jacinto³

¹Facultad de Ciencias Pecuarias, Universidad Técnica Estatal de Quevedo (UTEQ), Quevedo, Los Ríos, Ecuador. Correos electrónicos: (YMM) ymendezmartinez@gmail.com, ; (YGTN) ytorres@uteq.edu.ec, .

²Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de Granma (UDG), Bayamo, Granma, Cuba. Correos electrónicos: (YPT) ypereztamames@gmail.com, ; (MRV) romasviltresm@gmail.com, ; ³Programa de Acuicultura, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. (CIBNOR), La Paz, B.C.S., México. Correo electrónico: ecortes04@cibnor.mx, .

Abstract

Currently, the use of unconventional food sources in the inclusion of fish diets is cause of great interest. The growth performance of African catfish (*Clarias gariepinus*) was evaluated, with the inclusion of duckweed meal (*Lemna perpusilla*) in four levels (0, 6, 12 and 18 %) in the diet. African catfish with an average weight of 1.27 ± 0.03 g, were distributed in a completely randomized design, with 16 experimental cages (four replicates/treatment). The fingerlings were fed for 48 days of experimentation. An analysis of variance and a Duncan's test were performed. No significant differences were found ($p < 0.05$) for the first two levels evaluated, but with the rest there were differences, as the percentage of inclusion of the duckweed meal in the ration increased. Final weight was decreasing, as

Recibido el 11-08-2020 • Aceptado el 29-09-2020.

*Autor de correspondencia. Correo electrónico: ymendezmartinez@gmail.com

well as absolute growth rate, increase in daily weight, feed conversion ratio and food efficiency. Survival throughout the experiment was between 72 y 65 % in all treatments. The inclusion of duckweed meal in the diet did not affect the parameters of water quality. It was concluded that the *L. perpusillase* meal can be included up to 12 % in diets for African catfish fingerlings, without affecting the growth performance.

Keywords: aquatic plants, *Clarias gariepinus*, *Lemna perpusilla*, pelleted feed, weight gain.

Resumen

El uso de alimentos no convencionales en las dietas para peces es actualmente de gran interés. Se evaluó el comportamiento productivo de alevines de bagre africano (*Clarias gariepinus*), con la inclusión de la harina de la lenteja de agua (*Lemna perpusilla*) en cuatro niveles (0, 6, 12 y 18 %) en la formulación de la dieta. Se utilizaron 240 animales, con un peso promedio de $1,27 \pm 0,03$ g, distribuidos en un diseño completamente al azar, con 15 por réplicas (cuatro réplicas/tratamiento). Se realizó un análisis de varianza y una prueba de medias por Duncan. Los alevines fueron alimentados durante 48 días, no se encontraron diferencias significativas ($p < 0,05$) para los dos primeros niveles evaluados, y si con los restantes, en la medida que aumentaba el porcentaje de inclusión de harina de la lenteja de agua en la ración. El peso final fue descendiendo, así como el crecimiento absoluto, incremento en peso diario, factor de conversión alimenticia y eficiencia alimentaria. La supervivencia durante todo el experimento estuvo entre 72 y 65 %. La inclusión de este alimento en la dieta no afectó los parámetros de calidad del agua. Se concluyó que la harina de *L. perpusilla* se puede incluir hasta 12 % en dietas para alevines de bagre africano, sin afectar los indicadores bio-productivos.

Palabras claves: alimento peletizado, *Clarias gariepinus*, ganancia de peso, *Lemna perpusilla*, plantas acuáticas.

Resumo

O uso de insumos alimentares não convencionais na inclusão de dietas para peixes é atualmente de grande interesse. Foi avaliado o comportamento produtivo de alevinos de jundiá (*Clarias gariepinus*), com a inclusão de farinha de lentilha-d'água (*Lemna perpusilla*) em quatro níveis (0, 6, 12 e 18 %) na formulação da dieta. Foram utilizados 240 animais, com peso médio de 1.27 ± 0.03 g, distribuídos em delineamento inteiramente casualizado, com 15 por repetições (quatro repetições/tratamento). Foi realizada uma análise de variância e um teste de médias de Duncan. Aos 48 dias de cultivo experimental, não foram encontradas diferenças significativas ($p < 0.05$) para os dois primeiros níveis avaliados, e se com os demais, conforme aumentou a porcentagem de inclusão de farinha de lentilha-

d'água na ração. O peso final foi diminuindo, assim como o crescimento absoluto, aumento do peso diário, fator de conversão alimentar e eficiência alimentar. A sobrevivência durante todo o experimento foi entre 72 e 65 %. A inclusão desse alimento na dieta não afetou os parâmetros de qualidade da água. Concluiu-se que o farelo de *L. perpusilla* pode ser incluído em até 12 % em dietas para alevinos bagrefrenses, sem afetar os indicadores de bioprodução.

Palavras chaves: *Clarias gariepinus*, ganho de peso, *Lemna perpusilla*, plantas aquáticas, ração peletizada.

Introduction

Worldwide food production from aquaculture has had an average annual 6.7 %, increase with yields higher than 90.4 million tons (FAO, 2020). Feed remains one of important factors in fingerling cultivation. Nutritional composition of feed given during fingerling rearing has a significant influence to the fish growth in the following phases. Feeding cost in fish farming is about 50 % of the total production cost of the fish (Mambrini, and Guillaume, 2011; Méndez-Martínez *et al.*, 2017). Reducing fish meal is an important issue in the aquaculture industry because of its increased price (Lim and Lee, 2011; Putra *et al.*, 2017). Replacing the amount of fish meal in diet formulation with alternative local feed material is one of solutions (Kader *et al.*, 2013).

Fish feed components on one hand are suggested to be more affordable and not causing competition to human consumption needs, while in the other hand have to contain sufficient good quality nutrients for fish growth, which is defined as the increasing size, weight, and length in a certain time. Growth occurs when there is

Introducción

La producción mundial de alimentos provenientes de la acuicultura ha tenido un incremento promedio anual de 6,7%, con rendimientos superiores a 90,4 millones de toneladas (FAO, 2020). La alimentación sigue siendo uno de los factores importantes en el cultivo de alevinos y la composición nutricional del alimento administrado durante la cría de alevinos tiene una influencia significativa en el crecimiento de los peces en las siguientes fases. El costo de alimentación en la piscicultura constituye aproximadamente el 50 % del costo total de producción de los peces (Mambrini y Guillaume, 2011; Méndez-Martínez *et al.*, 2017). La reducción de la harina de pescado es un tema importante en la industria de la acuicultura debido a su aumento de precio (Lim y Lee, 2011; Putra *et al.*, 2017). Reemplazar la cantidad de harina de pescado en la formulación de la dieta con material alimenticio local alternativo es una de las soluciones (Kader *et al.*, 2013).

Se ha sugerido que los componentes del alimento para peces, por un lado, sean más asequibles y no causen competencia a las necesidades para el

the surplus input of energy and amino acids derived from feed. Acquired energy is used for basic metabolic maintenance (i.e. respiration, specific, and dynamic action), excreted out of the body, or available as surplus energy. This excess energy afterward is allocated for gaining weight (somatic growth), gonadal maturation and reproduction, or being stored in muscle, liver, and mesenteric fat (McBride *et al.*, 2015; Herawati *et al.*, 2020).

The aquaculture development is based on the implementation of technologies for the production of balanced feed, genetic improvement and the introduction of new species, among which are the common carp (*Cyprinus carpio*), red Tilapia (*Oreochromis* spp.) and African catfish (*Clarias gariepinus*) (FAO, 2020).

Currently the latter it is considered of vital importance due to the texture of its meat, its nutritive contribution, high growth rate, fecundity, and larger size. The African catfish is one of the most important freshwater aquaculture fish, the popular species for aquaculture business in Southeast Asian countries (Putra *et al.*, 2017). This specie is an opportunistic and omnivorous feeder ingesting a wide variety of food items such as algae, macrophytes, zooplankton, insects, fish prey, detritus, Amphibians and sand grains (Dadebo *et al.*, 2014; Admasu *et al.*, 2015). The diet composition may vary within season and spatial conditions of the environments (Houlihan *et al.*, 2001). In the same way, the diet composition may also vary depends

consumo humano, mientras que, por otro lado, deben contener suficientes nutrientes de buena calidad para el crecimiento de los peces, lo que se define como el aumento de tamaño, peso y longitud en un tiempo determinado. El crecimiento se produce cuando existe un aporte excedente de energía y aminoácidos del alimento. La energía adquirida se utiliza para el mantenimiento metabólico básico (es decir, respiración, acción específica y dinámica), se excreta fuera del cuerpo o se encuentra disponible como energía excedente. Este exceso de energía luego se asigna para ganar peso (crecimiento somático), maduración y reproducción gonadal, o almacenarse en el músculo, hígado y grasa mesentérica (McBride *et al.*, 2015; Herawati *et al.*, 2020).

El desarrollo de la acuicultura se basa en la implementación de tecnologías para la producción de alimento balanceado, mejoramiento genético y la introducción de nuevas especies, entre las que se encuentran la carpa común (*Cyprinus carpio*), la Tilapia roja (*Oreochromis* spp.) y el bagre africano (*Clarias gariepinus*) (FAO, 2020).

Actualmente a este último se le considera de vital importancia para la textura de su carne, su aporte nutritivo, alta tasa de crecimiento, fecundidad y mayor tamaño. El bagre africano es uno de los peces de acuicultura de agua dulce más importantes, especie popular para el negocio de la acuicultura en los países del sudeste asiático (Putra *et al.*, 2017). Esta especie es un alimentador oportunista y omnívoro que ingiere una amplia

upon the fish size, maturity, and habitat differences (da Silva *et al.*, 2014; Herawati *et al.*, 2020). Several authors have studied the feeding and eating habits of African catfish in water bodies, noting that this specie feeds on a variety of foods based on the environment in which it lives (Admasu *et al.*, 2015; Dadebo *et al.*, 2014; Putra *et al.*, 2017).

What makes it possible, the use of unconventional foods in the diet. Among which we can highlight the small floating aquatic plants, such as duckweed (Uddin *et al.*, 2007; Talukdar *et al.*, 2012). This plant may benefit for the aquaculture business as a cheap and abundant source of feed ingredient (Flores-Miranda *et al.*, 2015; Sirakov and Velichkova, 2018), given that its ability to grow rapidly on water bodies. Ansal *et al.*, (2010) reported that the productivity of duckweeds, planted in an effective planting system reach to 12–38 tons of dry weight.ha⁻¹.year⁻¹. *Lemna* is a potential source of nutrients as crude protein (28-43 %), minerals, vitamins, beta-carotene and vitamin B12 (Islami, 2002).

The *L. perpusilla* meal could be used as a local alternative in aquaculture species feed, especially in diets for African catfish, due to its high protein value, its low cost as unconventional feed, in addition to meeting the high requirements of this species. To determine the biological response of African catfish fingerlings (*C. gariepinus*), by including different levels of *L. perpusilla* meal in the diet was objective of this work.

variedad de alimentos como algas, macrófitos, zooplancton, insectos, presas de peces, detritos, anfibios y granos de arena (Dadebo *et al.*, 2014; Admasu *et al.*, 2015). La composición de su dieta puede variar dentro de la temporada y las condiciones espaciales de los ambientes (Houlihan *et al.*, 2001). Así mismo, la composición de la dieta puede variar dependiendo del tamaño de los peces, la madurez y las diferencias de hábitat (da Silva *et al.*, 2014; Herawati *et al.*, 2020). Varios autores han estudiado los hábitos alimentarios y alimenticios del bagre africano en cuerpos de agua, señalando que esta especie se alimenta de una variedad de alimentos en función del entorno en el que vive (Admasu *et al.*, 2015; Dadebo *et al.*, 2014; Putra *et al.*, 2017).

Esto es posible debido al uso de alimentos no convencionales en la dieta, entre las que se pueden destacar las pequeñas plantas acuáticas flotantes, como la lenteja de agua (Uddin *et al.*, 2007; Talukdar *et al.*, 2012). Esta planta puede beneficiarse para el negocio de la acuicultura como una fuente abundante y barata de ingrediente alimentario (Flores-Miranda *et al.*, 2015; Sirakov y Velichkova, 2018), dada su capacidad para crecer rápidamente en cuerpos de agua. Ansal *et al.* (2010) reportaron que la productividad de la lenteja de agua, plantada en un sistema de siembra eficaz, alcanza entre 12 y 38 toneladas de peso seco.ha⁻¹.año⁻¹. La *Lemna* es una fuente potencial de nutrientes, como proteína cruda (28-43%), minerales, vitaminas, betacaroteno y vitamina B12 (Islami, 2002).

Materials and methods

Experimental design and setup

Experiment was carried out in UEB “René Ramos”, Granma, Cuba. Were used 240 animals, with an average weight of 1.27 ± 0.03 g, distributed in a completely randomized design. They were sown in cages inside a concrete pond (20 m²), with 16 experimental cages (1.75 x 0.76 x 0.80 m long, wide and high respectively, resulting in a total volume of 1.06 m³), for four replicates/treatment. Previously washed with chlorine solution at a concentration of 100 ppm and washed with abundant water. African catfish were acclimated to experimental conditions for one week to reduce stress. The experiment culture was for 48 days. Estimated daily water replacement in the pond was about 20 %. The fishes were fed twice daily in two rations at 09:00 h and 17:00 h.

Water quality parameters such as temperature and dissolved oxygen were measured daily with a digital multi-parameter probe (Model 55, YSI, Yellow Springs, OH); pH was measured daily with a pH meter (American Marine, Ridgefield, CT); and total ammonium was determined weekly with a portable spectrophotometer (Hach DREL 2800, Loveland, CO). The photoperiod was 12 h light–12 h darkness, which is normal for the season. The feeding was *ad libitum*, which in turn guarantees adequate growth without dietary restrictions and intake was determined by feeding to apparent satiation a similar protocol as described by Méndez-Martínez *et al.* (2017).

La harina de *L. perpusilla* podría utilizarse como alternativa local en la alimentación de especies acuícolas, especialmente en dietas para bagre africano, debido a su alto valor proteico, su bajo costo como alimento no convencional, además de cumplir con los altos requerimientos de esta especie. Determinar la respuesta biológica de los alevines de bagre africano (*C. gariepinus*), mediante la inclusión de diferentes niveles de harina de *L. perpusilla* en la dieta fue objetivo de este trabajo.

Materiales y métodos

Diseño experimental y montaje

El experimento se realizó en la UEB “René Ramos”, Granma, Cuba. Se utilizaron 240 animales con un peso promedio de $1,27 \pm 0,03$ g, distribuidos en un diseño completamente al azar. Se sembraron en jaulas dentro de un estanque de hormigón (20 m²), con 16 jaulas experimentales (1,75 x 0,76 x 0,80 m de largo, ancho y alto respectivamente, resultando en un volumen total de 1,06 m³), para cuatro repeticiones/tratamiento. Previamente lavados con solución de cloro a una concentración de 100 ppm y luego abundante agua corriente. Los bagres africanos se aclimataron a las condiciones experimentales durante una semana para reducir el estrés. El cultivo experimental fue de 48 días. El reemplazo de agua diario estimado en el estanque fue de aproximadamente el 20 %. Los peces fueron alimentados dos veces al día en dos raciones a las 09:00 h y 17:00 h.

Los parámetros de calidad del agua, como la temperatura y el oxígeno

Experimental diets. All diets were formulated using the Excel Solver of Windows 2010, to contain four levels of inclusion of *L. perpusilla* meal at 0, 6, 12 and 18 % (table 1). All ingredients were sieved through a 250- μ m mesh, and each diet was prepared by mixing all the macro-ingredients in an industrial blender until a uniform mixture was obtained. The micro-ingredients and soy lecithin were mixed by hand in a plastic container until obtaining a homogeneous blend, before adding them to the macro-ingredients, and then water was added with an equivalent of 30 % per weight of the ingredients. 2-mm pellets were extruded with a meat grinder and dried during 8 h at 45°C in an air flux oven. Thereafter, dried pellets were packed in plastic bags and kept refrigerated at -4°C until its use as suggested by Méndez-Martínez *et al.* (2017; 2018).

Cultivation of the *L. perpusilla* and meal manufacture: For the cultivation was planted 25 g.m⁻² in two concrete (Caicedo *et al.*, 2000), pools with a dimension of 200 m² each, for a total area of 400 m². The duckweed was collected manually when the plants covered the entire surface of the two pools. The collection was made at six-day intervals. The fresh biomass harvested was carefully washed, later sun dried (33 - 35°C) during two days (8 h.day⁻¹) on a polyethylene mat, to facilitate drying, according the methodology of Fasakin *et al.* (2001), and was milled to a particle size of 2 mm using a laboratory mill and was sieved through a 250- μ m mesh, and later it was stored in air-tight polyethylene bags and were preserved at -4°C in a refrigerator prior to use as suggested by Méndez-Martínez *et al.* (2017; 2018).

disuelto, se midieron diariamente con una sonda digital multiparámetro (Modelo 55, YSI, Yellow Springs, OH); El pH se midió diariamente con un medidor de pH (American Marine, Ridgefield, CT); y el amonio total se determinó semanalmente con un espectrofotómetro portátil (Hach DREL 2800, Loveland, CO). El fotoperiodo fue de 12 h de luz - 12 h de oscuridad, lo que es normal para la temporada. La alimentación fue *ad libitum*, lo que a su vez garantiza un crecimiento adecuado sin restricciones dietéticas y la ingesta se determinó alimentando hasta saciedad aparente, protocolo similar al descrito por Méndez-Martínez *et al.* (2017).

Dietas experimentales. Todas las dietas se formularon utilizando Excel Solver de Windows 2010, para contener cuatro niveles de inclusión de harina de *L. perpusilla* al 0, 6, 12 y 18 % (cuadro 1). Todos los ingredientes se tamizaron a través de una malla de 250 μ m y cada dieta se preparó mezclando todos los macroingredientes en una licuadora industrial hasta que se obtuvo una mezcla uniforme. Los microingredientes y la lecitina de soja se mezclaron a mano en un recipiente de plástico hasta obtener una mezcla homogénea, antes de agregarlos a los macroingredientes, y luego se agregó agua con un equivalente al 30 % por peso de los ingredientes. Se extruyeron gránulos de 2 mm con una picadora de carne y se secaron durante 8 h a 45 °C en un horno de flujo de aire. Posteriormente, los gránulos secos se empacaron en bolsas plásticas y se mantuvieron refrigerados a -4 ° C hasta su uso como lo sugiere Méndez-Martínez *et al.* (2017; 2018).

Table 1. Formulation, proximate composition and essential amino acids of four experimental diets (% in dry matter) for *Clarias gariepinus* fingerlings.**Cuadro 1. Formulación, composición proximal, y aminoácidos esenciales de cuatro dietas experimentales (% en materia seca) para alevines de *Clarias gariepinus*.**

Ingredient (%)	<i>Lemna perpusilla</i> meal (%)			
	0	6	12	18
Fish meal	47	46	45	44
Corn meal	26	21	15	10
Rice Bran	20	20	21	21
<i>Lemna perpusilla</i> meal	0	6	12	18
Alginate	2	2	2	2
Mineral Premix ¹	0.70	0.70	0.70	0.70
Vitamin Premix ²	0.30	0.30	0.30	0.30
Dicalcium phosphate	2	2	2	2
Soy Lecithin	2	2	2	2
Proximate composition				
Dry matter (%)	88.83	89.05	89.30	89.52
Crude protein (%)	35.23	35.81	36.44	37.03
Crude Fiber (%)	3.15	3.46	3.86	4.17
Ether extract (%)	3.48	3.48	3.91	3.53
Nitrogen Free Extract ³	46.54	44.55	41.88	40.26
Ashes (%)	11.60	12.70	13.91	15.01
Gross energy (MJ.kg ⁻¹)	20.47	21.57	22.96	24.06
Essential amino acids (protein level, %)				
Threonine	1.37	1.54	1.71	1.87
Valina	1.77	2.01	2.25	2.49
Methionine	0.91	0.97	1.04	1.10
Isoleucine	1.41	1.63	1.84	2.05
Leucine	2.76	3.02	3.29	3.56
Lysine	2.41	2.50	2.60	2.69
Histidine	0.78	0.84	0.89	0.94
Arginine	2.03	2.15	2.26	2.38
Tryptophan	0.36	0.60	0.84	1.08
Phenylalanine	1.34	1.52	1.68	1.85

¹mg.kg⁻¹: Magnesium Sulfate 5.1; Sodium Chloride 2.4; Potassium Chloride 2; Ferrous Sulfate 1; Zinc Sulfate 0.2; Cupric sulfate 0.0314; Manganous sulfate 0.1015; Cobalt sulfate 0.0191; Calcium iodate 0.0118; Chlorine chloride 0.051. ²mg.kg⁻¹: Thiamin 60; Riboflavin 25; Niacin 40; Vitamin B6 50; Pantothenic Acid 75; Biotin 1; Folate 10; Vitamin B12 0.2; Hill 600; Myoinositol 400; Vitamin C 200; Vitamin A 5000 IU; Vitamin E 100; Vitamin D 0.1; Vitamin K 5. ³Data are expressed as mean ± SD of three replicates. ³Nitrogen free extract = 100 - (% crude protein + % ether extract + % crude fiber + % ash).

¹ mg.kg⁻¹: Sulfato de magnesio 5.1; Cloruro de sodio 2.4; Cloruro de potasio 2; Sulfato ferroso 1; Sulfato de zinc 0.2; Sulfato cúprico 0.0314; Sulfato manganoso 0.1015; Sulfato de cobalto 0.0191; Yodato de calcio 0.0118; Cloruro de cloro 0.051. ²mg.kg⁻¹: tiamina 60; Riboflavina 25; Niacina 40; Vitamina B6 50; Ácido pantoténico 75; Biotina 1; Folato 10; Vitamina B12 0.2; Hill 600; Myoinositol 400; Vitamina C 200; Vitamina A 5000 UI; Vitamina E 100; Vitamina D 0.1; Vitamina K 5. ³Los datos se expresan como media ± DE de tres repeticiones. ³Extracto libre de nitrógeno = 100 - (% proteína bruta + % extracto etéreo + % fibra bruta + % ceniza).

Proximate composition and amino acid profile in diets. The analysis of proximate composition including dry matter, crude protein, ash, crude fiber, ether extract and nitrogen free extract were determined in agreement with AOAC (2019). Gross energy of the diets was calculated based on conversion factors of 16.7 kJ.g⁻¹ protein and carbohydrate, and 37.6 kJ.g⁻¹ lipid (Cuzon and Guillaume, 1997; NRC, 2011). Amino acid profiles were also made in triplicate after the diets were lyophilized and defatted. These samples were analyzed by high performance liquid chromatography (Agilent 1100- HPLC, Pleasanton, CA) (Umagat *et al.*, 1982).

Evaluation of growth and production rates. The fish were individually weighed on a digital balance (± 0.01 g; PE 3600 Mettler-Toledo, Columbus, OH, USA), and the total length was determined with a digital vernier caliper (± 0.001 mm, GT-MA15 Gester, Xiamen, CHN). All calculations were obtained from average of four replicates. The following formulae were applied to obtain production and nutritional parameters.

$$\text{Weight gain (WG, g)} = W_x - W_i,$$

$$\text{Length gain (LG, g)} = L_x - L_i,$$

$$\text{Day average weight gain (DAW, g)}$$

$$\text{DAW} = (W_x - W_i) / t,$$

$$\text{Day average length gain (DAL, g)}$$

$$\text{DAL} = (L_x - L_i) / t,$$

$$\text{Specific growth rate (SGR)} = [(\ln W_x - \ln W_i)] / t \times 100,$$

$$\text{Feed conversion ratio (FCR)} = \text{total feed consumed (g)} / \text{total weight gain (g, wet weight)},$$

Cultivo de *L. perpusilla* y elaboración de harinas. Para el cultivo se sembraron 25 g.m² en dos piscinas de concreto (Caicedo *et al.*, 2000) con una dimensión de 200 m² cada una, para un área total de 400 m². La lenteja de agua se colectó manualmente cuando las plantas cubrieron toda la superficie de las dos piscinas. La recolección se realizó a intervalos de seis días. La biomasa fresca recolectada se lavó cuidadosamente, luego se secó al sol (33 - 35 °C) durante dos días (8 h.día⁻¹) sobre una estera de polietileno, para facilitar el secado, según la metodología de Fasakin *et al.* (2001) y se molió a un tamaño de partícula de 2 mm utilizando un molino de laboratorio y se tamizó a través de una malla de 250 μm , y luego se almacenó en bolsas de polietileno herméticas y se conservó a -4 °C en un refrigerador antes de utilizar.

Composición proximal y perfil de aminoácidos en las dietas. El análisis de la composición proximal incluye materia seca, proteína cruda, ceniza, fibra cruda, extracto etéreo y extracto libre de nitrógeno se determinó de acuerdo con AOAC (2019). La energía bruta de las dietas se calculó con base en factores de conversión de 16,7 kJ.g⁻¹ de proteína y carbohidratos y 37,6 kJ.g⁻¹ de lípidos (Cuzon y Guillaume, 1997; NRC, 2011). Los perfiles de aminoácidos también se elaboraron por triplicado después de que las dietas se liofilizaron y desgrasaron. Estas muestras se analizaron mediante cromatografía líquida de alta resolución (Agilent 1100 - HPLC, Pleasanton, CA)

Food Efficiency (FE) = total weight gain (g, wet weight)/ total feed consumed (g, dry weight).

Survival rate (SR, %) = (final number of fishes / initial number of fishes) × 100.

Where W_x is the final body weight (g), W_i is the initial body weight (g), and t is the duration of the experiment (days), L_x is the final body length (cm), L_i is the initial body length (cm). W_d is the weight of diet consumed by the fish.

Statistical analysis: Kolmogorov-Smirnov ($p < 0.05$) and Bartlett ($p < 0.05$) tests were applied to the data to determine normality and homogeneity of variance, respectively. A one-way ANOVA was applied and subsequently the Duncan's test for $p < 0.05$, using SPSS v-22.0. Data expressed in percentages were transformed by the square root of the arcsine before statistical analysis.

Results and discussion

The African catfish, a major species for human consumption in many African countries, exhibits high growth performances and important capacities to grow on various rearing conditions. In general, water quality parameters of temperature (27.05°C), dissolved oxygen (5.64 mg.L⁻¹), pH (8.04) and total ammonium (0.06) were maintained as recommended for this species (Dada and Olugbemi, 2013; Admassu *et al.*, 2015), and diets were formulas with ingredients, similar to those used in other research (Sogbesan *et al.*, 2006; Adebola *et al.*, 2015).

Evaluación de tasas de crecimiento y producción. Los peces se pesaron individualmente en una balanza digital ($\pm 0,01$ g; PE 3600 Mettler-Toledo, Columbus, OH, EE. UU.), Y la longitud total se determinó con un vernier digital ($\pm 0,001$ mm, GT-MA15 Gester, Xiamen, CHN). Todos los cálculos se obtuvieron de un promedio de cuatro repeticiones. Se aplicaron las siguientes fórmulas para obtener parámetros productivos y nutricionales.

Aumento de peso (WG, g) = $W_x - W_i$,

Ganancia de longitud (LG, g)

$LG = L_x - L_i$,

Aumento de peso promedio diario

$DAW = (W_x - W_i) / t$,

Aumento de longitud promedio

diaria $DAL = (L_x - L_i) / t$,

Tasa de crecimiento específico

$(SGR) = [(\ln W_x - \ln W_i)] / t \times 100$,

Relación de conversión de alimento

$(FCR) = \text{alimento total consumido (g)} / \text{ganancia de peso total (g, peso húmedo)}$,

Eficiencia alimentaria (FE) =

$\text{aumento de peso total (g, peso húmedo)} / \text{alimento total consumido (g, peso seco)}$.

Tasa de supervivencia (SR, %) = (número final de peces / número inicial de peces) × 100.

Donde W_x es el peso corporal final (g), W_i es el peso corporal inicial (g) y t es la duración del experimento (días), L_x es la longitud corporal final (cm), L_i es la longitud corporal inicial (cm). W_d es el peso de la dieta consumida por el pez.

Análisis estadístico: Se aplicaron las pruebas de Kolmogorov-Smirnov ($p < 0,05$) y Bartlett ($p < 0,05$) a los

The chemical composition of duckweed meal grown in open systems reflected high level of protein and low fiber (table 2). The percentage of dry matter in the case of meal is considered adequate, as is calcium and phosphorus, since it is a plant material. The values obtained confirms what was reported by Leng *et al.* (1995) and Korkut *et al.* (2016), these researchers showed that plants of this genus, because of their ability to grow up rapidly and produce protein-rich biomasses, they can be used as food for farm animals, especially for fish. Duckweeds are tiny free-floating monocotyledon vascular plants constitute an important nutrient potential in the diets of aquaculture species, although it presents dry matter values between 5 and 6% (Islami, 2002; Appenroth *et al.*, 2017). On the other hand, Anderson *et al.* (2011) and Appenroth *et al.* (2017), refers that the form of presentation of the *Lemna* in meal, improvement nutrients concentration, especially the content of essential amino acids. It should also be noted that there were favorable ecological conditions in the production of the duckweed and that due to the great capacity of these plants they could influence the chemical composition.

The crude protein in *L. perpusilla* (27.59 %), could substitute the vegetable protein sources from diets, taking into account that this element is a decisive nutrient in the live weight gain of fish. These results coincide with those of other authors dedicated to the study of the plants of the genus *Lemna* (Korkuk *et al.*, 2016). According to Yeo

datos para determinar la normalidad y homogeneidad de la varianza, respectivamente. Se aplicó un ANOVA de una vía y posteriormente la prueba de Duncan para $p < 0,05$, utilizando SPSS v-22.0. Los datos expresados en porcentajes fueron transformados por la raíz cuadrada del arcoseno antes del análisis estadístico.

Resultados y discusión

El bagre africano, una especie importante para el consumo humano en muchos países africanos, exhibe un alto rendimiento en crecimiento e importantes capacidades para crecer en diversas condiciones de cría. En general, los parámetros de calidad del agua, como la temperatura (27,05 °C), oxígeno disuelto (5,64 mg.L⁻¹), pH (8,04) y amonio total (0,06) se mantuvieron dentro de los valores recomendados para esta especie (Dada y Olugbemi, 2013; Admassu *et al.*, 2015), y las dietas eran fórmulas con ingredientes, similares a los utilizados en otras investigaciones (Sogbesan *et al.*, 2006; Adebola *et al.*, 2015).

La composición química de la harina de lenteja de agua cultivada en sistemas abiertos refleja un alto nivel de proteína y bajo contenido de fibra (cuadro 2). El porcentaje de materia seca en el caso de la harina se considera adecuado, al igual que el calcio y el fósforo, ya que es un material vegetal. Los valores obtenidos confirman lo reportado por Leng *et al.* (1995) y Korkut *et al.* (2016), estos investigadores demostraron que las plantas de este género, por su capacidad para crecer rápidamente y

et al., (2017), for the simplicity of the gastrointestinal tract of the fish, the digestibility of the fiber is very low, less than 10 %. It serves as a source of volume and as a binder, which is why the characterization of the fiber can determine the nutritional value of fish feed, which confirms the value of the results of this work. If the diet is rich in cellulose, the chyme moves through the digestive tract faster, than when the diet contains less of this nutrient, which is associated with a greater volume of fecal matter.

producir biomásas ricas en proteínas, se pueden utilizar como alimento para animales de granja, especialmente para peces. La lenteja de agua está compuesta por diminutas plantas vasculares monocotiledóneas que flotan libremente y constituyen un importante potencial nutritivo en la dieta de las especies acuícolas, aunque presenta valores de materia seca entre el 5 y el 6% (Islami, 2002; Appenroth *et al.*, 2017). Por otro lado, Anderson *et al.* (2011) y Appenroth *et al.* (2017), refieren que la forma

Table 2. Proximate composition of *Lemna perpusilla* meal (% in dry matter).

Cuadro 2. Composición proximal de la harina de *Lemna perpusilla* (% en materia seca).

Elements %	X ¹	DE
Dry material	92.31	0.18
Crude protein	27.59	0.25
Ethereal extract	2.08	0.10
Crude fiber	7.22	0.22
Ash	22.60	0.47
Nitrogen Free Extract ²	32.83	0.13
Phosphorus (P)	0.53	0.40
Calcium (Ca)	4.50	0.14

¹Data are expressed as mean \pm SD of three replicates. ²Nitrogen free extract = 100 - (% crude protein + % ether extract + % crude fiber + % ash).

¹Los datos se expresan como media \pm DE de tres réplicas. ²Extracto libre de nitrógeno = 100 - (% proteína bruta + % extracto etéreo + % fibra bruta + % ceniza).

These results are lower than those reported by Figueroa (1996), the level of fiber in food can also be referred to the age of the plant, where the older ones have higher content of lignocellulosic complex, which decreases the digestibility of the food. It is demonstrated by analyzing the

de presentación de la *Lemna* en la comida, mejora la concentración de nutrientes, especialmente el contenido de aminoácidos esenciales. Cabe señalar también que existieron condiciones ecológicas favorables en la producción de la lenteja de agua y que debido a la gran capacidad de

chemical composition of *Lemna* species that can be used in the supplementary feeding of aquaculture species such as *C. gariepinus*, with high availability and at lower cost than with the use of commercial feed, coinciding with Korkuk *et al.* (2016).

The food sources used for the cultivation of *C. gariepinus* in African and Asian countries are very broad (Admasu *et al.*, 2015) and sometimes include the use of aquatic weeds, which gives importance to what is investigated in this work. Diets formulated they have a high percentage of protein, superior to those shown in other investigations for this stage (Llanes and Toledo, 2016), which could have an influence on the final weight. However, significant differences were observed in the control treatment with the percentages of inclusion of duckweed meal, except for 12%. Result that could be associated to the stable behavior of the physical-chemical factors studied in close relation to the quality and size of the pellet, which in the framework of this investigation had a diameter of 2-mm and a time of water stability of seven minutes, which justifies the results of this study.

Work developed in other research corroborates what was obtained in this research, as these authors obtained higher growth rates in the diets that showed the highest protein content (Ogunji and Wirth, 2001; Dada *et al.*, 2013; Adebola *et al.*, 2015; Méndez *et al.*, 2018). Something similar happened for the length and weight gain. The average daily gain showed the best results for balanced

estas plantas podrían influir en la composición química.

La proteína cruda de *L. perpusilla* (27,59 %), podría sustituir a las fuentes de proteínas vegetales de las dietas, teniendo en cuenta que este elemento es un nutriente decisivo en la ganancia de peso vivo de los peces. Estos resultados coinciden con los de otros autores dedicados al estudio de las plantas del género *Lemna* (Korkuk *et al.*, 2016). Según Yeo *et al.* (2017), por la sencillez del tracto gastrointestinal de los peces, la digestibilidad de la fibra es muy baja, menos del 10 %. Sirve como fuente de volumen y como aglutinante, por lo que la caracterización de la fibra puede determinar el valor nutricional del pienso para peces, lo que confirma el valor de los resultados de este trabajo. Si la dieta es rica en celulosa, el quimo se mueve por el tracto digestivo más rápido que cuando la dieta contiene menos de este nutriente, lo que se asocia con un mayor volumen de materia fecal.

Estos resultados son inferiores a los reportados por Figueroa (1996), el nivel de fibra en los alimentos también puede referirse a la edad de la planta, donde las más viejas tienen mayor contenido de complejo lignocelulósico, lo que disminuye la digestibilidad del alimento. Se demuestra al analizar la composición química de especies de *Lemna* que pueden ser utilizadas en la alimentación complementaria de especies acuícolas como *C. gariepinus*, con alta disponibilidad y a menor costo que con el uso de piensos comerciales, coincidiendo con Korkuk *et al.* (2016).

Las fuentes alimentarias utilizadas

feed, although without differences with the diet where 12 % of the *Lemna* meal was included. In investigations developed by Uddin *et al.* (2007), used fish silage, with the use of this plant and obtained the average values of 0.62 g·day⁻¹ of weight increase in different experimental diets, similar to those obtained for the first level of inclusion.

It is necessary to emphasize that the balance of amino acids and essential fatty acids, in which omega 3 and its high digestibility are included, low levels of antinutritional factors and unidentified growth factors influenced the results of this research, which coincides with the notified by Zhou *et al.* (2004). It also corroborates what other authors have said when referring that these species in fingerling stages require high level of proteins (Mambrini and Guillaume, 2011). The average daily gain of size showed the best results for the first three established diets, without differences between them, which could be given by the composition and the contributions of nutrients and the chemical composition of duckweed (Anderson *et al.*, 2011).

The highest final body length, LG, DAL, FCR and FE were significant ($p < 0.05$) observed in African catfish fingerlings fed the *L. perpusilla* meal content on 0, 6 and 12 % of diet (table 3). The catfish fingerlings fed the *L. perpusilla* meal content at 0 and 12% of diet exhibited statistically significant ($p < 0.05$) improve in final body weight, WG, DAW and Feed consumption than those fed other diets. With respect to SGR the highest values were observed

para el cultivo de *C. gariepinus* en países africanos y asiáticos son muy amplias (Admasu *et al.*, 2015) y en ocasiones incluyen el uso de malezas acuáticas, lo que da importancia a lo que se investiga en este trabajo. Las dietas formuladas tienen un alto porcentaje de proteína, superior a los mostrados en otras investigaciones para esta etapa (Llanes y Toledo, 2016), lo que podría influir en el peso final. Sin embargo, se observaron diferencias significativas en el tratamiento control con los porcentajes de inclusión de harina de lenteja de agua, excepto para el 12 % de inclusión. Resultado que podría estar asociado al comportamiento estable de los factores físico-químicos estudiados en estrecha relación con la calidad y tamaño del pellet, que en el marco de esta investigación tuvo un diámetro de 2 mm y un tiempo de estabilidad al agua de siete minutos, lo que justifica los resultados de este estudio.

El trabajo desarrollado en otras investigaciones corrobora lo obtenido en esta investigación, ya que estos autores obtuvieron mayores tasas de crecimiento en las dietas que mostraron mayor contenido proteico (Ogunji y Wirth, 2001; Dada *et al.*, 2013; Adebola *et al.*, 2015; Méndez *et al.*, 2018). Algo similar sucedió con la longitud y el aumento de peso. La ganancia diaria promedio mostró los mejores resultados para la alimentación balanceada, aunque sin diferencias con la dieta donde se incluyó el 12 % de la harina de *Lemna*. En investigaciones desarrolladas por Uddin *et al.* (2007), utilizaron ensilaje de pescado, con el uso de esta

in fingerlings fed the diets containing duckweed meal content on 0 % of diet. planta y obtuvieron valores promedio de 0,62 g·día⁻¹ de aumento de peso

Table 3. Productive responses (\pm EE) of *Clarias gariepinus* fingerlings fed diets containing different *Lemna perpusilla* meal content.

Cuadro 3. Respuestas productivas (\pm EE) de alevines de *Clarias gariepinus* alimentados con dietas con diferentes contenidos de harina de *Lemna perpusilla*.

Productive responses	<i>Lemna perpusilla</i> meal content (%)				P
	0	6	12	18	
Final weight (g)	35.33 \pm 0.73 ^c	28.31 \pm 0.64 ^{ab}	30.48 \pm 1.65 ^{bc}	25.07 \pm 1.18 ^a	0.007
Final length (cm)	15.65 \pm 0.21 ^b	14.28 \pm 0.23 ^{ab}	15.40 \pm 0.28 ^b	13.58 \pm 0.35 ^a	0.048
Weight Gain (g)	33.96 \pm 0.68 ^c	27.04 \pm 0.60 ^{ab}	29.15 \pm 1.21 ^{bc}	23.70 \pm 1.30 ^a	0.008
Day average weight gain (g.day ⁻¹)	0.72 \pm 0.01 ^c	0.58 \pm 0.02 ^{ab}	0.62 \pm 0.10 ^{bc}	0.50 \pm 0.02 ^a	0.008
Length gain (cm)	10.38 \pm 0.38 ^b	9.15 \pm 0.45 ^{ab}	10.32 \pm 0.29 ^b	8.33 \pm 0.32 ^a	0.045
Day average length gain (cm.day ⁻¹)	0.22 \pm 0.02 ^b	0.19 \pm 0.02 ^{ab}	0.22 \pm 0.03 ^b	0.18 \pm 0.01 ^a	0.045
Specific growth rate	6.90 \pm 0.08 ^c	6.60 \pm 0.12 ^b	6.66 \pm 0.09 ^b	6.17 \pm 0.07 ^a	0.040
Average feed consumption (g)	38.90 \pm 0.90 ^d	32.07 \pm 0.89 ^b	34.29 \pm 1.34 ^{cd}	29.78 \pm 0.98 ^a	0.001
Feed conversion ratio	1.15 \pm 0.05 ^a	1.20 \pm 0.07 ^a	1.19 \pm 0.03 ^a	1.31 \pm 0.08 ^a	0.744
Feed Efficiency	0.88 \pm 0.04 ^a	0.85 \pm 0.08 ^a	0.85 \pm 0.04 ^a	0.80 \pm 0.08 ^a	0.845

^{a,b,c,d} Different letters within the same row, differ significantly for $p < 0.05$. ¹Data are expressed as mean \pm EE.

^{a,b,c,d} Letras diferentes dentro de la misma fila, difieren significativamente para $p < 0,05$. ¹Los datos se expresan como media \pm EE.

However, in the growth rate the best result was reflected in the control treatment, where the antinutritional factors and percentage fiber on diet could have an influence. Fiber levels increased in the diet as levels of *Lemna* meal increased. Van-Weerd *et al.* (2000), using soya meal, as a substitute for fishmeal, with levels of 18; 41 and 69 % of inclusion in the diet of *C. gariepinus* showed a depression

en diferentes dietas experimentales, similares a los obtenidos para el primer nivel de inclusión.

Es necesario resaltar que el balance de aminoácidos y ácidos grasos esenciales, en los que se incluyen los omega 3 y su alta digestibilidad, bajos niveles de factores antinutricionales y factores de crecimiento no identificados influyeron en los resultados de esta investigación, que

in the growth of this species, by increasing the levels of soya meal, which justifies the results obtained in this work. In other studies, conducted by Ogunji and Wirth (2001) used blood meal replacing fish meal in isoprotein feeds with 37.0 % protein for tilapia fish nutrition and obtained a higher FCR, related to the composition of the granulates and higher feed rates. In the alimentary efficiency there were no significant differences between the diets studied, something similar happened with the FCR, which was below 1.7. The difference between the treatments in this aspect is given by the animals ingesting similar amounts of dry matter. Similar results were obtained by Méndez *et al.* (2018) who studied similar inclusion percentages of the Azolla plant in the genus *Claria*.

Fingerlings of red tilapia (*Oreochromis* spp.) were fed with different levels of *Lemna* meal inclusion and were reached FCA values (2.04 to 2.52) (Peters *et al.*, 2009), were obtained that differed from those obtained in this experiment, which shows a better use of food by the African catfish fingerlings. Is important to point out that food efficiency is directly linked to the FCR, so for a higher efficiency there must be a lower conversion factor.

The survival rates reached in this study were relatively high (figure 1), for this stage of fingerling and type of crop (super-intensive). The polynomial regression analysis between survival and dietary duckweed meal content was $y = -1.375x^2 + 4.785x + 67.775$ ($R^2 = 0.9851$), It was found that the higher minute duckweed meal content

coincide con lo notificado por Zhou *et al.* (2004). También corrobora lo dicho por otros autores al referirse a que estas especies en estadios de alevines requieren alto nivel de proteínas (Mambrini y Guillaume, 2011). La ganancia de tamaño promedio diaria mostró los mejores resultados para las tres primeras dietas establecidas, sin diferencias entre ellas, lo que podría estar dado por la composición y los aportes de nutrientes y la composición química de la lenteja de agua (Anderson *et al.*, 2011).

La longitud corporal final más alta, LG, DAL, FCR y FE fueron significativas ($p < 0,05$) observadas en alevines de bagre africano alimentados con el contenido de harina de *L. perpusilla* con 0, 6 y 12 % de la dieta (cuadro 3). Los alevines de bagre alimentados con el contenido de harina de *L. perpusilla* al 0 y 12 % de la dieta exhibieron una mejora estadísticamente significativa ($p < 0,05$) en el peso corporal final, WG, DAW y consumo de alimento que aquellos alimentados con otras dietas. Con respecto a la SGR, los valores más altos se observaron en los alevines alimentados con dietas con contenido de harina de lenteja de agua al 0 % de la dieta

Sin embargo, en la tasa de crecimiento el mejor resultado se reflejó en el tratamiento control, donde los factores antinutricionales y el porcentaje de fibra en la dieta pudieron influir. Los niveles de fibra aumentaron en la dieta a medida que aumentaron los niveles de harina de *Lemna*. Van-Weerd *et al.* (2000), utilizando harina de soja, como

the survival decreases. In all the variables evaluated, the lowest values were significantly ($p < 0.05$) obtained with the treatment where the *Lemna perpusilla* meal content on 18 % diet.

sustituto de la harina de pescado, con niveles de 18; 41 y 69 % de inclusión en la dieta de *C. gariepinus* mostró una depresión en el crecimiento de esta especie al aumentar los niveles

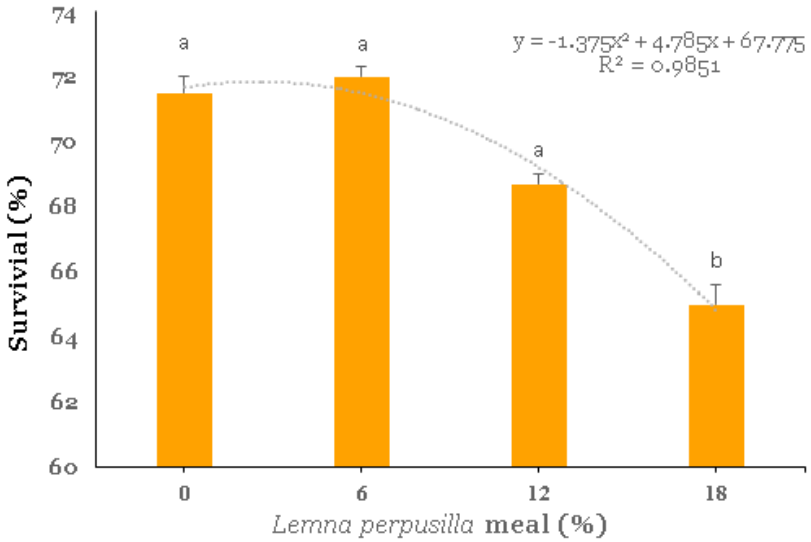


Figure 1. Survival of *Clarias gariepinus* fingerlings fed diets containing different *Lemna perpusilla* meal content.

Figura 1. Supervivencia de alevines de *Clarias gariepinus* alimentados con dietas con diferentes contenidos de harina de *Lemna perpusilla*.

For survival there were differences between the treatments, the percentages are between 65 and 72, this was due to the stress that fish raised in captivity can have. These results are similar to those obtained by different authors in other fish species such as *Scophthalmus maximus* (Van-Weerd *et al.*, 2000; Sogbesan *et al.*, 2006; Méndez *et al.*, 2018). The established according to (Coche, 1989) is between

de harina de soja, lo que justifica los resultados obtenidos en este trabajo. En otros estudios, realizados por Ogunji y Wirth (2001), se utilizó harina de sangre que reemplazó la harina de pescado en alimentos con isoproteicos con 37,0 % de proteína para la nutrición de peces de tilapia y obtuvieron una FCR más alta, relacionada con la composición de los granulados y tasas de alimentación

30–40 %, results at productive scale and not at experimental level where the predation was controlled with the homogenization of the sizes and the weight, besides an adequate management of the African catfish fingerlings (*C. gariepinus*) throughout the bioassay, avoiding stress among the fingerlings. However, the work of Llanes and Toledo (2016), showed survival of over 95% in this species when fed diets with an increase in dietary protein, which influenced the results obtained, and demonstrates the potential of the species, besides the conditions of established management.

Conclusion

The meal of *L. perpusilla* is characterized by having high levels of proteins and low crude fiber, making possible its use in the diet of the second stage of African catfish fingerlings (*C. gariepinus*), this study demonstrated that raw *L. perpusilla* can be utilized up to 12 % inclusion level in the ration without affecting the productive results.

End of English Version

más altas. En la eficiencia alimentaria no hubo diferencias significativas entre las dietas estudiadas, algo similar sucedió con la FCR, que estuvo por debajo de 1,7. La diferencia entre los tratamientos en este aspecto viene dada por los animales que ingieren cantidades similares de materia seca. Méndez *et al.* (2018) obtuvieron resultados similares, quienes

estudiaron porcentajes de inclusión similares de la planta Azolla en el género *Claria*.

Se alimentaron alevines de tilapia roja (*Oreochromis* spp.) Con diferentes niveles de inclusión de harina de *Lemna* y se alcanzaron valores de FCA (2,04 a 2,52) (Peters *et al.*, 2009), que difirieron de los obtenidos en este experimento, lo que muestra un mejor aprovechamiento de los alimentos por parte de los alevines de bagre africano. Es importante señalar que la eficiencia alimentaria está directamente ligada al FCR, por lo que para una mayor eficiencia debe existir un factor de conversión menor.

Las tasas de supervivencia alcanzadas en este estudio fueron relativamente altas (figura 1), para esta etapa de alevines y tipo de cultivo (superintensivo). El análisis de regresión polinomial entre la supervivencia y el contenido de harina de lenteja de agua en la dieta fue $y = -1.375x^2 + 4.785x + 67.775$ ($R^2 = 0,9851$). Se encontró que, a mayor contenido de harina de lenteja de agua, la supervivencia disminuye. En todas las variables evaluadas, los valores significativamente ($p < 0,05$) más bajos se obtuvieron con el tratamiento donde el contenido de harina de *Lemna perpusilla* en la dieta fue del 18 %.

Para la supervivencia hubo diferencias entre los tratamientos, los porcentajes están entre 65 y 72, esto se debe al estrés que pueden tener los peces criados en cautiverio. Estos resultados son similares a los obtenidos por diferentes autores en otras especies de peces como

Scophthalmus maximus (Van-Weerd *et al.*, 2000; Sogbesan *et al.*, 2006; Méndez *et al.*, 2018). El establecido según POT (2015) está entre 30 - 40 %, resultados a escala productiva y no a nivel experimental donde se controló la depredación con la homogeneización de las tallas y el peso, además de un adecuado manejo de los alevines de bagre africano (*C. gariepinus*) durante todo el bioensayo, evitando el estrés entre los alevines. Sin embargo, el trabajo de Llanes y Toledo (2016), mostró una supervivencia superior al 95 % en esta especie al ser alimentada con dietas con aumento de proteína en la dieta, lo que influyó en los resultados obtenidos, y demuestra el potencial de la especie, además de las condiciones de manejo establecidas.

Conclusión

La harina de *L. perpusilla* se caracteriza por tener altos niveles de proteínas y bajo contenido de fibra cruda, posibilitando su uso en la dieta de la segunda etapa de alevines de bagre africano (*C. gariepinus*), este estudio demostró que *L. perpusilla* cruda puede ser utilizada hasta el 12 % de nivel de inclusión en la ración sin afectar los resultados productivos.

Literatura citada

Adebola, A.O., A. Funmilola and F. R. Olorunleke. 2015. Nutrient utilization and growth of *Clarias gariepinus* fed four different commercial feeds. *Int. J. Fish. Aquac.* 7(7): 107-110.

Admassu, D., L. Abera and Z. Tadesse. 2015. The food and feeding habits of the African catfish, *Clarias gariepinus*

(Burchell), in Lake Babogaya, Ethiopia. *GJFS.* 3(4):211-220.

Anderson, K. E., Z. Lowman, A. M. Stomp and J. Chang. 2011. Duckweed as a feed ingredient in laying hen diets and its effect on egg production and composition. *Int. J. Poultry Sci.* 10 (1): 4-7.

Ansal, M. D., A. Dhawan and V. I. Kaur. 2010. Duckweed based bioremediation of village ponds: An ecologically and economically viable integrated approach for rural development through aquaculture. *Livest. Res. Rural Dev.* 22(129): 1-8.

Association of Official Analytical Chemists International (AOAC). 2019. *Official Methods of Analysis of AOAC International*, 21st Edition. Gaithersburg, Maryland, USA.

Appenroth, K. J., K. S. Sree, V. Böhm, S. Hammann, W. Vetter, M. Leiterer and G. Jahreis. 2017. Nutritional value of duckweeds (Lemnaceae) as human food. *Food Chem.* 217: 266-273.

Caicedo, J. R., S. P. Van Der, O. Arce and H. Gijzen. 2000. Effect of total ammonium nitrogen concentration and pH on growth rates of duckweed (*Spirodela polyrrhiza*). *Water Research.* 3(2): 12-16.

Cuzon, G. and J. Guillaume. 1997. Energy and protein: energy ratio. p. 51-70. In: D'Abramo, L. R., D. E., Conklin and D.M., Akiyama (Eds.). *Crustacean Nutrition. Advances in World Aquaculture*, vol. 6. Louisiana State University, Baton Rouge, LA.

da Silva, J. C., E. A. Gubiani and R. L. Delariva. 2014. Use of food resources by small fish species in Neotropical rivers: responses to spatial and temporal variations. *Zoologia.* 31: 435-444.

Dada, A. A. and B. D. Olugbemi. 2013. Dietary effects of two commercial feed additives on growth performance and body composition of African catfish, *Clarias gariepinus* fingerlings. *Afr. J. Food Sci.* 7(9): 325-328.

Dadebo, E., D. Aemro, and Y. Tekle-Giorgis. 2014. Food and feeding habits of the

- African catfish *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822) (Pisces: Clariidae) in Lake Koka, Ethiopia. *Afr. J. Ecol.* 52(4): 471-478.
- FAO. 2020. FishStatJa tool for fishery statistics analysis, Release 2.0.0. Universal software for fishery statistical time series. Global capture and aquaculture production: Quantities 1950-2018; Aquaculture values 1984-2018. Food and Agriculture Organization (FAO) Fisheries Department, Fishery Information, Data and Statistics Unit. Rome.
- Fasakin, E. A., A. M. Balogun and O. A. Fagbenro. 2001. Evaluation of sun-dried water fern, *Azolla africana* and duckweed, *Spirodela polyrrhiza* in practical diets for Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* fingerlings. *J. Appl. Aquac.* 11(1): 83-92.
- Figuerola, V. 1996. Producción porcina con cultivos tropicales y reciclajes de nutrientes. Fundación CIPAV, Cali, Colombia. 155 p.
- Flores-Miranda, M. C., A. Luna-González, D. V. Cortés-Espinosa, P. Álvarez-Ruiz, E. Cortés-Jacinto, F. J. Valdez-González, R. Escamilla-Montes and H. A. González-Ocampo. 2015. Effects of diets with fermented duckweed (*Lemna* sp.) on growth performance and gene expression in the Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*. *Aquacult Int.* 23: 547-561.
- Herawati, V. E., Pinandoyo, Y. S. Darmanto, N. Rismaningsih, S. Windarto and O. K. Radjasa. 2020. The effect of fermented duckweed (*Lemna minor*) in feed on growth and nutritional quality of tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Biodiversitas* 21(7): 3350-3358.
- Houlihan, D., T. Boujard and M. Jobling. 2001. Food Intake in Fish. Blackwell Science, Oxford, UK. 143 p.
- Islami, K. M. S. 2002. Feasibility of duckweed as poultry feed-A review. *Indian J. Anim. Sci.* 72(6): 486-491.
- Kader, M. A., M. Bulbul, M. S. Hossain, S. Yokoyama, M. Ishikawa and S. Koshio. 2013. Improved utilization of a plant byproducts mixture by supplementing dietary bamboo charcoal for Juvenile Amberjack *Seriola dumerili*. *South Pacific Studie.* 34(1): 1-12.
- Korkut, A. Y., A. Gunes, A. Kop, H. Cakar, O. Akat, M. A. Guney, B. Ozkul, E. Koru, C. Suzer, S. Cirik, K. Firat, S. Saka and C. Goktepe. 2016. Preliminary study for utilization of some invasive aquatic plants as raw material for aquaculture feeds. *Fresenius Environ. Bull.* 25(11): 4915-4920.
- Leng, R. A., J. H. Stambolie and R. Bell. 1995. Duckweed a potential high protein feed resource for domestic animal and fish. *Livestock Res. Rural Dev.* 7(3): 1-5.
- Lim, S. J. and K. J. Lee. 2011. A microbial fermentation of soybean and cottonseed meal increases antioxidant activity and gossypol detoxification in diets for Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. *J. World Aquacult. Soc.* 42(4): 494-503.
- Llanes, J. and J. Toledo. 2016. Desempeño productivo de *Clarias gariepinus* al reducir la ración e incrementar la proteína dietética. *Revista Cubana de Investigaciones Pesqueras.* 33(1): 59-63.
- Mambrini, M. and J. Guillaume. 2011. Protein nutrition. In: Guillaume, J., S. Kaushik, P., Bergot, and R., Métailler. (Eds.). *Nutrition and Feeding on Fish and Crustaceans*. Springer and Praxis Publishing, Chichester, UK. p 81-110.
- McBride, R. S., S. Somarakis, G. R. Fitzhugh, A. Albert, N. A. Yaragina, M. J. Wuenschel and A. Alonso-Fernández. 2015. Energy acquisition and allocation to egg production in relation to fish reproductive strategies. *Fish Fish.* 16(1): 23-57.
- Méndez, Y., D. Chacón, Y. Pérez y J. Ramírez. 2018. El crecimiento y la supervivencia de alevines de *Clarias gariepinus* con la inclusión de *Azolla* en la dieta. *REDVET.* 19(4): 1-5.
- Méndez-Martínez, Y., M. U. García-Guerrero, F. G. Arcos-Ortega, L. R. Martínez-Córdova, S. Yamasaki-Granados, J. C. Pérez-Rodríguez and E. Cortés-

- Jacinto. 2018. Effect of different ratios of dietary protein-energy on growth, body proximal composition, digestive enzyme activity, and hepatopancreas histology in *Macrobrachium americanum* (Bate, 1868) prawn juveniles. *Aquaculture*. 485: 1–11.
- Méndez-Martínez, Y., S. Yamasaki-Granados, M. U. García-Guerrero, L. R. Martínez-Córdova, M. E. Rivas-Vega, F. G. Arcos-Ortega and E. Cortés-Jacinto. 2017. Effect of dietary protein content on growth rate, survival and body composition of juvenile cauke river prawn, *Macrobrachium americanum* (Bate 1868). *Aquac. Res.* 48: 741-751.
- Nutrient requirements of fish and shrimp (NRC). 2011. National Research Council, National Academies Press, Animal Nutrition Series, Washington, DC. 71 p.
- Ogunji, J. O. and M. Wirth. 2001. Alternative protein sources as substitutes for fishmeal in the diet of Young Tilapia *Oreochromis niloticus* (Linn). *Isr. J Aquacult. Bamid.* 53(1): 34-38.
- Peters, R. R. D., E. D. A. Morales, N. M. S. Morales and J. L. R. Hernández. 2009. Feeding Quality Evaluation of *Lemna obscura* Meal as Ingredients in the Elaboration of Food for Red Tilapia (*Oreochromis* spp.). *Revista Científica, FCV-LUZ.* 19(3): 303-310.
- Procedimiento Operacional de Trabajo (POT). 2015. Procedimiento Operacional de Trabajo actualizado, para el cultivo intensivo de Pez Gato Africano. Ministerio de la Industria Pesquera. La Habana. Cuba. 39 p.
- Coche, A. E. P. 1989. Selected Aspects of Warmwater Fish Culture. Biology and culture of african catfish. Food and Agriculture Organizations of the United Nations, Rome, Italy. 182 pp. Available in: <http://www.fao.org/3/t8389e/T8389E00.htm>
- Putra, I., R. Rusliadi, M. Fauzi, U. M. Tang and Z. A. Muchlisin. 2017. Growth performance and feed utilization of African catfish *Clarias gariepinus* fed a commercial diet and reared in the biofloc system enhanced with probiotic. *F1000 Res.* 6: 1545–1553.
- Sirakov, I. and K. Velichkova. 2018. The Influence of Aquaponically Grown Duckweed (*Lemna minuta* Kunth) Used for Composition of Sustainable Diets on Hydrochemical and Technological Parameters in Carp (*Cyprinus carpio* L.). *Turkish J. Fish. Aquat. Sci.* 18: 1037-1044.
- Sogbesan, A. O., N. Ajuonu, B. O. Musa and A. M. Adewole. 2006. Harvesting techniques and evaluation of maggot meal as animal dietary protein source for “Heteroclaris” in outdoor concrete tanks. *World J. Agric. Res.* 2(4): 394-402.
- Talukdar, M. Z. H., M. Shahjahan and M. S. Rahman. 2012. Suitability of duckweed (*Lemna minor*) as feed for fish in polyculture system. *Int. J. Agril Res. Innov. and Tech.* 2: 42-46.
- Uddin, M. N., M. S. Rahman and M. Shahjahan. 2007. Effects of duckweed (*Lemna minor*) as supplementary feed on monoculture of GIFT strain of tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Progress. Agric.* 18: 183-188.
- Umagat, H. P. Kucera and L. F. Wen. 1982. Total amino acid analysis using pre-column fluorescence derivatization. *J. Chromatogr.* 239: 463–474.
- Van-Weerd, J. H., K. H. A. Khalaf, F. J. Aartsen and P. A. T. Tijssen. 2000. Balance trials with African catfish *Clarias gariepinus* fed phytase-treated soybean meal-based diets. *Aquac. Nutr.* 5(2): 135-142.
- Yeo, M. G., C. M. Blé, A. K. Otchoumou, S. Dabonne, Y. L. Alla and A. O. Etchian. 2017. Digestibility and growth performance in fingerlings of tilapia *Oreochromis niloticus* fed with diet containing high-carbohydrate ingredients. *Int. J. Fish. Aquat. Studies* 5(4): 171-175.
- Zhou, Q. C., B. P. Tan, K. S. Mai and Y. J. Liu. 2004. Apparent digestibility of selected feedin gradients for juvenile cobia *Rachycentron canadum*. *Aquaculture* 241: 441-451.

Producción de biodiesel por esterificación y transesterificación de aceites vegetales de cocina usados

Production of biodiesel by esterification and transesterification from waste cooking oils

Produção de biodiesel por esterificação e transesterificação de óleos vegetais de cozinha usado

Elsy Arenas Dávila¹, Aidin Urribarrí¹, John Sánchez¹,
Marisela Rincón¹, Karina Martínez¹, Eduardo González² y
Cateryna Aiello Mazzarri^{1*}

Facultad de Ingeniería. Universidad del Zulia. Maracaibo, estado Zulia. Venezuela. ¹Departamento de Ingeniería Bioquímica. Escuela de Ingeniería Química. ²Instituto de Superficies y Catálisis. Correos electrónicos: (EA) elsy.arenas@gmail.com, ; (AU) aidinum03@gmail.com, ; (JS) piter138@gmail.com, ; (MR) mariselarincon@gmail.com ; (KM) kmartinez@gmail.com, ; (EG) egonzalez@fing.luz.edu.ve, ; (CA) caiello@fing.luz.edu.ve, .

Resumen

Anualmente se generan grandes cantidades de aceites vegetales usados (AVU), producto de la preparación de alimentos, los cuales pueden causar contaminación de aguas y suelos, si no son dispuestos adecuadamente, pero a su vez tienen gran potencial en la producción de biodiesel. En este trabajo, los AVU recolectados de establecimientos de comida rápida se sometieron a un pretratamiento de esterificación, variando las condiciones de reacción, relación molar, concentración de catalizador y tiempo, con la finalidad de disminuir el contenido de ácidos grasos libres generados en los procesos de fritura, antes de la transesterificación. Se encontró que la acidez inicial de los AVU ($10,08 \pm 0,22$ %) disminuyó por debajo de 1 % durante la esterificación a 60 °C y 100 rpm, con RMAVU:MeOH de 1:7 y concentración de HCl de 0,3 % v/v, con una conversión de ácidos grasos libres (AGL) a ésteres metílicos del 94,48 y 98,61 % para tiempos de reacción de cuatro (4) y seis (6) horas, respectivamente. Los AVU previamente esterificados se sometieron a un proceso de transesterificación con KOH como catalizador en presencia de

Recibido el 05-12-2019 • Aceptado el 14-07-2020.

*Autor de correspondencia. Correo electrónico: caiello@fing.luz.edu.ve

metanol, a 60 °C y 100 rpm, encontrando que el biodiesel producido es una mezcla compuesta por los ésteres metílicos de los ácidos linoleico (57 %), palmítico (14 %), oleico (22 %), esteárico (4 %) y elaídico (3 %). La mayor concentración de ésteres metílicos ($93,797 \pm 0,685 \text{ g.L}^{-1}$) se obtuvo al usar los AVU esterificados durante seis (6) h de reacción. Los espectros FTIR confirmaron la conversión de los ácidos grasos a ésteres metílicos, por lo que este biocombustible podría ser utilizado en motores diésel.

Palabras clave: Biodiesel, esterificación, transesterificación, aceites vegetales usados.

Abstract

Large quantities of waste cooking oils (WCO) are generated annually, as a result of food preparation, which can cause contamination of waters and soils, if they are not disposed of properly, but in turn have great potential in the production of biodiesel. In this work, the WCO collected from fast food establishments were subjected to an esterification pretreatment, varying the reaction conditions, molar ratio, catalyst concentration and time, to decrease the content of free fatty acids generated in the frying processes; after an alkaline transesterification. The initial acidity of the WCO ($10,08 \pm 0,22 \%$) was found to drop below 1 % during esterification at 60 °C and 100 rpm, with RMAVU:MeOH of 1: 7 and HCl concentration of 0.3 % v/v , with a conversion of free fatty acids (FFA) to methyl esters of 94.48 and 98.61 % for reaction times of 4 and 6 hours, respectively. The previously esterified WCO were subjected to a transesterification process with KOH as a catalyst in the presence of methanol, at 60 °C and 100 rpm, finding that the biodiesel produced was a mixture composed of the methyl esters of linoleic acids (57 %), palmitic (14 %), oleic (22 %), stearic (4 %) and elaidic (3 %). The highest concentration of methyl esters ($93,797 \pm 0.685 \text{ g.L}^{-1}$) was obtained when using the esterified AVU during 6 hours of reaction. FTIR spectra confirmed the conversion of fatty acids to methyl esters, so this product could be used as a biofuel.

Keywords: Biodiesel, esterification, transesterification, waste cooking oils.

Resumo

Grandes quantidades de óleos vegetais usados (AVU) são geradas anualmente, como resultado da preparação de alimentos, que podem causar contaminação das águas e do solo, se não forem descartados adequadamente, mas, por sua vez, têm grande potencial na produção de biodiesel. Neste trabalho, as AVU coletadas em estabelecimentos de fast food foram submetidas a um pré-tratamento de esterificação, variando as condições de reação, razão molar, concentração do catalisador e tempo, para diminuir o teor de ácidos graxos livres gerados nos processos de fritura; após uma transesterificação alcalina. A acidez inicial das AVUs ($10,08 \pm 0,22 \%$) caiu abaixo de 1 % durante a esterificação a 60 °C e 100

rpm, com RMAVU: MeOH de 1: 7 e concentração de HCl de 0,3 % v/v, com uma conversão de ácidos graxos livres (AGL) em ésteres metílicos de 94,48 e 98,61 % para tempos de reação de 4 e 6 horas, respectivamente. As AVU previamente esterificadas foram submetidas a um processo de transesterificação com KOH como catalisador na presença de metanol, a 60 ° C e 100 rpm, constatando que o biodiesel produzido era uma mistura composta pelos ésteres metílicos de ácidos linoléicos (57 %), palmítico (14 %), oleico (22 %), esteárico (4 %) e eláidico (3 %). A maior concentração de ésteres metílicos ($93.797 \pm 0,685 \text{ g.L}^{-1}$) foi obtida com o uso da UVA esterificada durante 6 horas de reação. Os espectros de FTIR confirmaram a conversão de ácidos graxos em ésteres metílicos, para que este produto pudesse ser usado como biocombustível.

Palavras-chave: O biodiesel, esterificação, transesterificação, óleos vegetais.

Introducción

La alta demanda de energía en el mundo, así como la distribución no uniforme de reservas de petróleo, provoca que muchas regiones dependan de otras para satisfacer sus necesidades de combustible. Esto aunado a los problemas de contaminación causados por el uso generalizado de combustibles fósiles hacen cada vez más necesario el desarrollo de fuentes de energía renovables económicas y de bajo impacto ambiental (Meher *et al.*, 2006; Sinha *et al.*, 2008; Shalaby y El-Gendy, 2012; Dutí *et al.*, 2016). Los recursos agrícolas como maíz, caña de azúcar y aceites vegetales se han convertido en materia prima para la obtención de biocombustibles, sin embargo, existe una marcada controversia por el uso de fuentes que están destinadas a la producción de alimentos para humanos y animales.

Los aceites vegetales de cocina usados (AVU) son un desecho

Introduction

The high demand for energy in the world, as well as the uneven distribution of oil reserves, causes many regions to depend on others to meet their fuel needs. This, together with the pollution problems caused by the widespread use of fossil fuels, make it necessary to develop inexpensive renewable energy sources with low environmental impact (Meher *et al.*, 2006; Sinha *et al.*, 2008; Shalaby and El-Gendy, 2012; Dutí *et al.*, 2016). Agricultural resources such as corn, sugar cane and vegetable oils have become raw material for obtaining biofuels, however, there is a marked controversy over the use of sources that are destined to feed humans and animals.

Used waste cooking oils (AVU, in spanish) are a liquid waste from homes, restaurants, and food industry. It has been estimated that more than 15 million tons of used vegetable oils of domestic origin are generated

líquido que se genera en los hogares, restaurantes e industrias de procesamiento de alimentos. Se ha estimado que mundialmente se generan más de 15 millones de toneladas de aceites vegetales usados de origen doméstico (Kalam *et al.*, 2011). En Estados Unidos (EE.UU) se generan más de 350 millones de litros por día, mientras que en Europa la cifra es cercana a los 4 millones de litros recolectados por día (Patil *et al.*, 2012), la diferencia entre los registros presentados posiblemente se debe a los hábitos alimenticios característicos de cada región.

En Maracaibo, Venezuela, se ha estimado que existen más de 8500 establecimientos dedicados a la venta de comida rápida, principalmente frituras. En promedio, cada establecimiento genera cerca de 18 L de AVU diarios, por lo que anualmente, se estarían generando cerca de 6 millones de litros de este residuo, solo producto de este tipo de actividad. Generalmente, en estos establecimientos usan un mismo lote de aceite comestible para freír la mayor cantidad de veces posible, con el fin de abaratar los costos de producción (Bonacia y Maldonado, 2012). El uso de estos AVU puede tener efectos directos sobre la salud, ya que el aceite después de ser reutilizado tres o más veces se torna potencialmente cancerígeno (Restrepo, 2012).

Cuando los residuos no son dispuestos correctamente, pueden traer graves consecuencias ambientales. La disposición de un litro de AVU por el alcantarillado doméstico o industrial, puede

worldwide (Kalam *et al.*, 2011). In the United States (USA) more than 350 million liters are generated per day, while in Europe this number is close to 4 million liters collected per day (Patil *et al.*, 2012), the difference between records presented is possibly due to the eating habits characteristic of each region.

In Maracaibo, Venezuela, it has been estimated more than 8,500 establishments dedicated to fast food marketing, mainly fried foods. On average, each establishment generates about 18 L of AVU per day, so that annually, it would be generating about 6 million liters of this waste, the only product of this type of activity. Generally, in these establishments they use the same batch of edible oil to fry as many times as possible, in order to lower production costs (Bonacia and Maldonado, 2012). The use of these AVU can have direct effects on health, since the oil after being reused three or more times becomes potentially carcinogenic (Restrepo, 2012).

When wastes are not correctly disposed, it can have serious environmental consequences. The disposal of a liter of AVU through the domestic or industrial sewerage can contaminate a volume higher than 50,000 liters of water (Guerrero *et al.*, 2011), also producing energy losses and low yields in wastewater treatment plants. This makes it necessary to implement policies for AVU collection, which can be treated or used as raw material in the production of alternative energies, such as biodiesel.

contaminar un volumen superior a 50.000 litros de agua (Guerrero *et al.*, 2011), produciendo además pérdidas de energía y bajos rendimientos en las plantas de tratamiento de aguas residuales. Esto hace necesaria la implantación de políticas de recolección de los AVU, los cuales pueden ser tratados o utilizados como materia prima en la producción de energías alternativas, como el biodiesel.

El biodiesel obtenido de AVU es un biocombustible de segunda generación, con el atractivo de ser renovable y amigable con el ambiente, ya que no contiene azufre y no contribuye con la acumulación de CO₂ en la atmósfera. Además, su producción promueve el desarrollo sostenible a través de mecanismos de transformación de desechos a energía (Papageorgiou *et al.*, 2009, Montero *et al.*, 2016). La principal ventaja del biodiesel es su capacidad de funcionar en cualquier motor diésel convencional, sin ser necesaria ninguna modificación en ellos. Puede almacenarse y utilizarse tanto puro como en mezclas en diferentes proporciones con el diésel de petróleo (Atabani *et al.*, 2012).

La manera más común para producir biodiesel es mediante un proceso de transesterificación (Ecuación 1), el cual consiste en una reacción química catalizada entre los aceites vegetales o grasas y un alcohol para producir alquil ésteres y glicerina (Felizardo *et al.*, 2006; Mustafa *et al.*, 2016). El metanol es el alcohol comúnmente usado en esta reacción, debido a su bajo costo (Wang *et al.*, 2006) y los

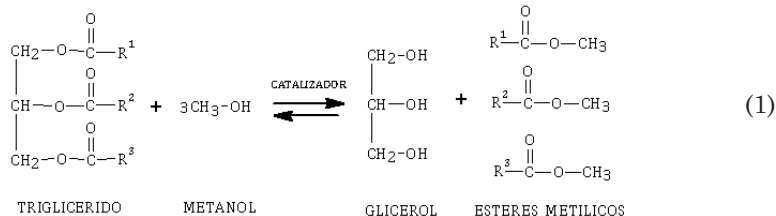
Biodiesel obtained from AVU is a second generation biofuel, with the advantage of being renewable and environmentally friendly, since it does not contain sulfur and does not contribute to atmospheric accumulation of CO₂. In addition, its production promotes sustainable development through mechanisms of transformation of waste to energy (Papageorgiou *et al.*, 2009, Montero *et al.*, 2016). The main advantage of biodiesel is its ability to work in any conventional diesel engine, without requiring any modification to them. It can be stored and used both pure and in mixtures in different proportions with petroleum diesel (Atabani *et al.*, 2012).

The most common way to produce biodiesel is through transesterification (Equation 1), which consists of a catalyzed chemical reaction between vegetable oils or fats and an alcohol to produce alkyl esters and glycerin (Felizardo *et al.*, 2006; Mustafa *et al.*, 2016). Methanol is the alcohol commonly used in this reaction, due to its low cost (Wang *et al.*, 2006) and the most widely used catalysts are bases, sodium hydroxide (NaOH) and potassium hydroxide (KOH) (Atabani *et al.*, 2012).

The presence of free fatty acids (FFA) and water adversely affect the reaction, because they cause the emulsification of glycerin on the organic phase, as well as the formation of soap in the medium, making it difficult to separate the product (Meher *et al.*, 2006), requiring the addition of a pretreatment or prior stage to transesterification.

catalizadores más utilizados son las bases, hidróxido de sodio (NaOH) y de potasio (KOH) (Atabani *et al.*, 2012).

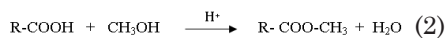
By means of esterification catalyzed by a mineral acid or Lewis acid Equation 2), the FFA react with a low molecular weight alcohol



La presencia de ácidos grasos libres (AGL) y agua afectan negativamente la reacción, debido a que originan la emulsificación de la glicerina sobre la fase orgánica, así como la formación de jabón en el medio, dificultando la separación del producto (Meher *et al.*, 2006), siendo necesaria la adición de un pretratamiento o etapa previa a la transesterificación.

Mediante la esterificación catalizada por un ácido mineral o ácido de Lewis (Ecuación 2), los AGL reaccionan con un alcohol de bajo peso molecular (metanol o etanol), para producir alquil ésteres y agua. Los catalizadores más utilizados son los ácidos minerales, siendo el de mayor relevancia el ácido sulfúrico (Wang *et al.*, 2006; Encinar *et al.*, 2011).

(methanol or ethanol), to produce alkyl esters and water. The most widely used catalysts are mineral acids, the most relevant being sulfuric acid (Wang *et al.*, 2006; Encinar *et al.*, 2011).

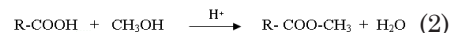


In this work, biodiesel production was evaluated through a process that includes pretreatment by acid esterification of used vegetable oils at different reaction conditions, and alkaline transesterification of previously esterified used vegetable oils.

Materials and methods

Used vegetable oils

The AVU were collected from different commercial fast food establishments in the city of Maracaibo, state of Zulia, Venezuela. Then, they were filtered to eliminate solid waste and stored in plastic containers with a lid, kept at room temperature in the laboratory



En este trabajo se evaluó la producción de biodiesel mediante un proceso que incluye el pretratamiento por esterificación ácida de los aceites vegetales usados a diferentes condiciones de reacción,

y la transesterificación alcalina de los aceites vegetales usados previamente esterificados.

Materiales y métodos

Aceites vegetales usados

Los AVU se recolectaron de diferentes establecimientos comerciales de comida rápida de la ciudad de Maracaibo, estado Zulia, Venezuela. Luego, se filtraron para eliminar los desechos sólidos y se almacenaron en envases plásticos con tapa, manteniéndose a temperatura ambiente del laboratorio (24 ± 2 °C) para su posterior caracterización y análisis.

Caracterización de los aceites vegetales usados

La caracterización de los AVU se realizó determinando el contenido de cenizas (ASTM D482, 2013), la viscosidad cinemática y dinámica (ASTM D445, 2015), la densidad y gravedad específica (ASTM D1298, 2012), la acidez y el índice ácido (COVENIN 325-01, 2001).

Esterificación de los aceites vegetales usados

Se aplicó un pretratamiento de esterificación de los AVU para disminuir el contenido de ácidos grasos libres. La reacción se llevó a cabo en matraces Erlenmeyer de 250 mL utilizando ácido clorhídrico (HCl) como catalizador en presencia de metanol. Se utilizó un diseño experimental univariable, para estudiar el comportamiento de las variables de forma individual, manteniendo fijas las otras variables en estudio. Para esto se variaron la

(24 ± 2 °C) for their subsequent characterization and analysis.

Characterization of used vegetable oils

The characterization of the AVU was carried out by determining the ash content (ASTM D482, 2013), the kinematic and dynamic viscosity (ASTM D445, 2015), the density and specific gravity (ASTM D1298, 2012), the acidity and the acid index (COVENIN 325-01, 2001).

Esterification of used vegetable oils

An esterification pretreatment of the AVU was applied to reduce the content of free fatty acids. The reaction was carried out in 250 mL Erlenmeyer flasks using hydrochloric acid (HCl) as a catalyst in the presence of methanol. A univariate experimental design was used to study the behavior of the variables individually, keeping the other variables under study fixed. For this, the catalyst concentration (0.3; 0.4; 0.5; 0.6; 0.7; 0.8 % v/v), the oil/methanol molar ratio (RMAVU: MeOH) (1:3, 1:5, 1:7, 1:9) and the reaction time (0; 0.5; 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10 h) evaluating the effect on the acidity of the AVU and the conversion of AGL to methyl esters. The mixture was allowed to stand for 12 h at 40 °C, separating the phases formed by decantation. The lower phase with the methyl esters and the unreacted fats was passed to the transesterification process, while the upper phase with the water obtained in the esterification process, the remaining catalyst and the excess methanol, were heated to 65 °C on a rotary evaporator to recover methanol. All tests were carried out in triplicate.

concentración de catalizador (0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8 % v/v), la relación molar aceite/metanol (RMAVU:MeOH) (1:3, 1:5, 1:7, 1:9) y el tiempo de reacción (0; 0,5; 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10) h, evaluando el efecto sobre la acidez de los AVU y la conversión de AGL a ésteres metílicos. La mezcla se dejó en reposo durante 12 h a 40 °C, separando las fases formadas por decantación. La fase inferior con los ésteres metílicos y las grasas sin reaccionar, se pasó al proceso de transesterificación, mientras que la fase superior con el agua obtenida en el proceso de esterificación, el catalizador remanente y el exceso de metanol, se calentaron a 65 °C en un rotavapor para recuperar el metanol. Todos los ensayos se realizaron por triplicado.

Las mejores condiciones se seleccionaron con base al menor valor de la acidez (COVENIN 325-01) y la máxima conversión de AGL a ésteres metílicos, la cual se calculó mediante la Ecuación 3, donde A_{AVUE} es la acidez de las grasas esterificadas y A_{AVU} es la acidez de los AVU sin tratar.

$$\text{Conversión (\%)} = \left(1 - \frac{A_{AVUE}}{A_{AVU}}\right) \times 100 \quad (3)$$

Transesterificación de los aceites vegetales usados tratados

Los AVU previamente esterificados a las mejores condiciones seleccionadas, se sometieron a un proceso de transesterificación utilizando KOH como catalizador en presencia de metanol. Todos los ensayos se realizaron por triplicado, en matraces Erlenmeyer de 250 mL, con

The best conditions were selected based on the lowest acidity value (COVENIN 325-01) and the maximum conversion of AGL to methyl esters, which was calculated by Equation 3, where A_{AVUE} is the acidity of the esterified fats and A_{AVU} is the acidity of the untreated AVU.

$$\text{Conversión (\%)} = \left(1 - \frac{A_{AVUE}}{A_{AVU}}\right) \times 100 \quad (3)$$

Transesterification of treated used vegetable oils

The AVU previously esterified under the best selected conditions were subjected to a transesterification process using KOH as a catalyst in the presence of methanol. All the tests were carried out in triplicate, in 250 mL Erlenmeyer flasks, with RMAVU:MeOH of 1:6, KOH concentration of 1 % m/m, at 60 °C for 1 hour (Wang *et al.*, 2006) in an orbital incubator (New Brunswick Scientific) at 100 rpm. The product obtained was left at rest for 24 hours, separating the biodiesel obtained (upper phase) from the glycerin (lower phase) by decantation. The biodiesel was washed with acidified water at 50 °C, to eliminate the traces of catalyst present (Uzun *et al.*, 2012) repeating the wash until the pH of the waste water was similar to that of distilled water (Sinha *et al.*, 2008).

The methyl esters present in the biodiesel were identified and quantified by gas chromatography using an Agilent 6890N equipment equipped with an automatic injection system, a flame ionization detector (FID) and an HP-5 Capillary column

RMAVU:MeOH de 1: 6, concentración de KOH de 1 % m/m , a 60 °C durante 1 hora (Wang *et al.*, 2006) en una incubadora orbital (New Brunswick Scientific) a 100 rpm. El producto obtenido se dejó en reposo por 24 horas, separando por decantación el biodiesel obtenido (fase superior) de la glicerina (fase inferior). El biodiesel se lavó con agua acidulada a 50 °C, para eliminar las trazas de catalizador presentes (Uzun *et al.*, 2012) repitiendo el lavado hasta que el pH del agua de desecho fuera similar al del agua destilada (Sinha *et al.*, 2008).

Los ésteres metílicos presentes en el biodiesel se identificaron y cuantificaron por cromatografía de gases usando un equipo Agilent 6890N provisto de sistema de inyección automático, detector de ionización a la llama (FID) y una columna Capilar HP-5 (30 m x 0,320 mm x 0,25 μm). Se utilizó helio como gas de arrastre y una mezcla de 37 ésteres metílicos (SUPELCO) como estándar. La temperatura inicial del horno fue de 150 °C aumentando hasta 260 °C a una velocidad de 4 °C.min⁻¹. Las temperaturas del inyector y del detector fueron de 220 y 250 °C, respectivamente.

Los espectros de infrarrojo se recolectaron con 10 scans desde 400 a 4000 cm^{-1} utilizando un espectrómetro FT-IR (Shimadzu Prestige 21) con ventanas de NaCl impregnadas con el líquido, analizando la información mediante el programa IR solution, versión 2.0.

Análisis estadístico

Se aplicó un estudio de comparación múltiple utilizando el método de pruebas de media HSD de Tukey para comparar el efecto las variables evaluadas sobre el grado de conversión

(30 m x 0.320 mm x 0.25 μm). Helium was used as the carrying gas and a mixture of 37 methyl esters (SUPELCO) as standard. The initial oven temperature was 150 °C increasing to 260 °C at a speed of 4 °C min⁻¹. The injector and detector temperatures were 220 and 250 °C, respectively.

Infrared spectra were collected with 10 scans from 400 to 4000 cm^{-1} using an FT-IR spectrometer (Shimadzu Prestige 21) with NaCl windows impregnated with the liquid, analyzing the information using the IR solution program, version 2.0.

Statistic analysis

A multiple comparison study was applied using Tukey's HSD mean test method to compare the effect of the variables evaluated on the degree of conversion of fats to esters, with a significance level $\alpha = 0.05$, using the SPSS Statistics program. 17.0.

Results and discussion

Table 1 shows the results obtained in the characterization of waste vegetable oils. It is observed that they have a low ash content, a parameter that is used as an indicator of the presence of impurities or contaminants that may affect the purity of the biodiesel obtained (ASTM D482-13).

The density, kinematic and dynamic viscosity were 920 $kg.m^{-3}$, 41.3 $mm.s^{-2}$ and 0.038 $kg.m^{-1}.s^{-1}$, respectively. The high viscosity values are due to the presence of dimeric and polymeric acids, dimeric acylglycerols and polyglycerols, product of the hydrogenation,

de grasas a ésteres, con un nivel de significancia $\alpha=0,05$, utilizando el programa SPSS Statistics 17.0.

Resultados y discusión

En el cuadro 1 se muestran los resultados obtenidos en la caracterización de los aceites vegetales usados (AVU). Se observa que presentan un bajo contenido de cenizas, parámetro este que se utiliza como indicador de la presencia de impurezas o contaminantes que pueda afectar la pureza del biodiesel obtenido (ASTM D482-13).

oxidation and cracking reactions of fats during frying (Cvengros and Cvengrosova, 2004; Issariyakul *et al.*, 2007; Chhetri *et al.*, 2008).

The AVU presented a high acidity value, 10.08 % (20.06 mg KOH.g⁻¹ AVU), attributable to the fact that in most cases, vegetable oils are used several times and even reused by several days, so they are subjected to heating processes at high temperatures for long periods of time, in addition to being exposed to light and air. Under these conditions, hydrolysis and oxidation reactions can occur in fats, generating high amounts

Cuadro 1. Caracterización de los aceites vegetales de cocina usados.

Table 1. Characterization of used vegetable cooking oils.

Parámetro	Contenido
Cenizas (%)	0,04 ± 0,01*
Acidez (%)	10,08 ± 0,22*
Índice ácido (mg KOH.g ⁻¹ grasa)	20,06 ± 0,44*
Densidad 40 °C (kg.m ⁻³)	920
Viscosidad cinemática (mm ² .s ⁻¹)	41,30
Viscosidad dinámica 40 °C (kg.m ⁻¹ .s ⁻¹)	0,038

Nota: *Valores promedio de los resultados obtenidos de los análisis realizados por triplicado ± 1 desviación estándar.

Note: *Average values of the results obtained from the analyzes performed in triplicate ± 1 standard deviation.

La densidad, viscosidad cinemática y dinámica fue de 920 kg.m⁻³, 41,3 mm.s⁻² y 0,038 kg.m⁻¹.s⁻¹, respectivamente. Los altos valores de viscosidad se deben a la presencia de ácidos diméricos y poliméricos, acilglicerolos diméricos y poliglicerolos, producto de las reacciones de hidrogenación, oxidación

of free fatty acids, in addition to other products of the fat oxidation reaction (Cvengros and Cvengrosova, 2004; Diya'uddeen *et al.*, 2012).

A high acidity value indicates a high content of free fatty acids (FFA) in AVU. The presence of AGL (≥ 2 %) has a negative effect on the

y craqueo de las grasas durante la fritura (Cvengros y Cvengrosova, 2004; Issariyakul *et al.*, 2007; Chhetri *et al.*, 2008).

Los AVU presentaron un alto valor de acidez, 10,08 % (20,06 mg KOH.g⁻¹ AVU), atribuible al hecho de que, en la mayoría de los casos, los aceites vegetales son utilizados varias veces e incluso reusados por varios días, por lo que son sometidos a procesos de calentamiento a altas temperaturas por largos periodos de tiempo, además de estar expuestos a la luz y al aire. Bajo estas condiciones pueden darse las reacciones de hidrólisis y oxidación en las grasas, generando altas cantidades de ácidos grasos libres, además de otros productos de la reacción de oxidación de las grasas (Cvengros y Cvengrosova, 2004; Diya'uddeen *et al.*, 2012).

Un elevado valor de acidez indica un alto contenido de ácidos grasos libres (AGL) en los AVU. La presencia de AGL ($\geq 2\%$) tiene un efecto negativo sobre la reacción de transesterificación alcalina debido a la pérdida de catalizador durante la neutralización de los ácidos libres, por lo que la reacción no se completa (metanólisis incompleta) (Demirbas, 2009; Mathiyazhagan y Ganapathi, 2011). Esto conduce a un aumento en los niveles de triglicéridos en la fase esterificada que resulta en un menor contenido de ésteres metílicos en el biodiesel y, por ende, un menor rendimiento del proceso (Bautista *et al.*, 2009).

Esterificación de los aceites vegetales usados

Para disminuir la acidez de los AVU se aplicó un tratamiento de esterificación de los ácidos grasos

alkaline transesterification reaction due to the loss of catalyst during the neutralization of free acids, so the reaction is not completed (incomplete methanolysis) (Demirbas, 2009; Mathiyazhagan and Ganapathi, 2011). This leads to an increase in triglyceride levels in the esterified phase that results in a lower content of methyl esters in the biodiesel and, therefore, a lower yield of the process (Bautista *et al.*, 2009).

Esterificación de usados vegetable oils

To reduce the acidity of the AVU, an esterification treatment of the free fatty acids was applied at 60 °C and 100 rpm, using HCl as a catalyst in the presence of methanol. Figure 1a shows the effect of the catalyst concentration on the acidity of the AVU, keeping the RMAVU:MeOH constant (1:5) and the reaction time (2 h).

In general, it is observed that for all the catalyst concentrations studied, the acid index of the AVU decreases, not finding statistically significant differences ($p \geq 0.05$) between the values obtained. For the HCl concentration of 0.3% v/v, the acid index decreases from the initial value of 20.02 to 1.85 mg KOH.g⁻¹, for a conversion of free fatty acids to methyl esters of 90.77%.

This conversion is similar to that obtained (90%) by Wang *et al.* (2006) in the esterification of AVU using H₂SO₄ as catalyst (4%), RMAVU:MeOH of 1:20 for 10 h, but lower than that reported by Chai *et al.* (2014) who achieved a conversion of 95% using a concentration of H₂SO₄ as catalyst (10%), RMAVU:MeOH of 1:40 for 2 h. Both studies use catalyst concentrations

libres a 60 °C y 100 rpm, utilizando HCl como catalizador en presencia de metanol. En la figura 1a se muestra el efecto de la concentración de catalizador sobre la acidez de los AVU, manteniendo constante la RMAVU:MeOH (1:5) y el tiempo de reacción (2 h).

higher than those reported in this study. Both H_2SO_4 and HCl are strong acids; in sulfuric acid (pK_{a_1} : -6.62 and pK_{a_2} : 1,9) the dissociation occurs in two (2) stages, while in hydrochloric acid the dissociation occurs in only one (pK_a : -7). In the esterification reaction, the catalyst

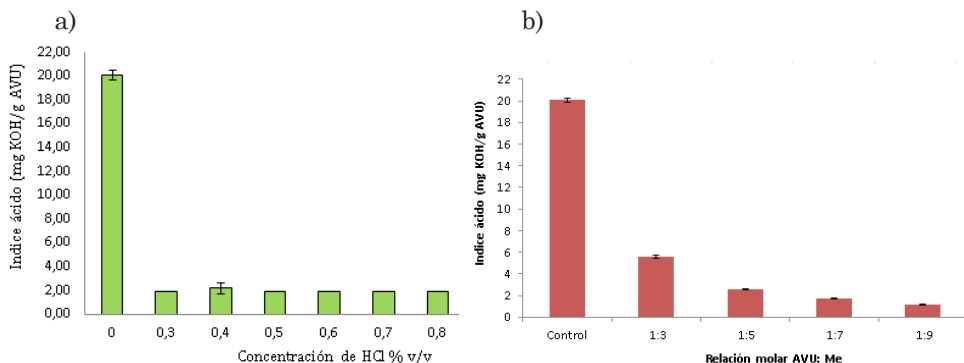


Figura 1. Efecto de la concentración del catalizador HCl (a) y la relación molar (RMAVU:MeOH) (b) sobre el índice ácido en la esterificación de los AVU a 60°C, 200 rpm, durante dos (2) horas.

Figure 1. Effect of the concentration of the catalyst HCl (a) and the molar ratio (RMAVU:MeOH) (b) on the acid number in the esterification of the AVU at 60 °C, 200 rpm, for two (2) hours.

En general, se observa que para todas las concentraciones de catalizador estudiadas, el índice ácido de los AVU disminuye, no encontrándose diferencias estadísticamente significativas ($p \geq 0,05$) entre los valores obtenidos. Para la concentración de HCl de 0,3 % v/v, el índice ácido disminuye desde el valor inicial de 20,02 hasta 1,85 mg KOH.g⁻¹, para una conversión de ácidos grasos libres a ésteres metílicos del 90,77 %.

Esta conversión es similar a la obtenida (90 %) por Wang *et al.*

acts as an activator of the nucleophilic substitution reaction (Wade, 1993), electrophilicity and nucleophilicity are two ways of talking about the reactive rates of the reactions, that is, the lower the pKa it reacts more quickly with the nucleophiles (Solomons, 1985). From the foregoing, it can be deduced that HCl, having a lower pKa than H_2SO_4 , generates a higher reaction rate, making it a better catalyst, in addition to requiring lower concentrations for the reaction.

(2006) en la esterificación de AVU usando H_2SO_4 como catalizador (4 %), RMAVU:MeOH de 1:20 durante 10 h, pero inferior a la reportada por Chai *et al.* (2014) quienes alcanzaron una conversión del 95 % utilizando una concentración de H_2SO_4 como catalizador (10 %), RMAVU:MeOH de 1:40 durante 2h. Ambos estudios utilizan concentraciones de catalizador superiores a la reportada en este estudio. Tanto el H_2SO_4 como el HCl son ácidos fuertes; en el ácido sulfúrico (pK_{a1} : -6,62 y pK_{a2} : 1,9) la disociación ocurre en dos (2) etapas, mientras que en el ácido clorhídrico la disociación ocurre en una sola (pK_a : -7). En la reacción de esterificación el catalizador actúa como activador de la reacción de sustitución nucleofílica (Wade, 1993), la electrofilia y la nucleofilia son dos formas de hablar sobre las velocidades reactivas de las reacciones, es decir a menor pK_a reacciona más rápidamente con los nucleófilos (Solomons, 1985). Por lo anteriormente expuesto, se puede deducir que el HCl, al tener un pK_a inferior al del H_2SO_4 , genera una mayor velocidad de reacción, haciéndolo mejor catalizador, además de requerir menores concentraciones para la reacción.

En la figura 1b se muestra el efecto de la relación molar (RMAVU:MeOH) sobre la acidez de los AVU, utilizando la concentración del catalizador HCl de 0,3 % v/v seleccionada en la experiencia anterior, durante dos horas de reacción. Se observa que al aumentar el valor de la RMAVU:MeOH, disminuye el índice ácido, encontrándose diferencias significativas ($p \leq 0,05$)

Figure 1b shows the effect of the molar ratio (RMAVU: MeOH) on the acidity of the AVU, using the HCl catalyst concentration of 0.3 % v/v selected in the previous experience, during two hours of reaction. It is observed that when the value of the RMAVU:MeOH increases, the acid index decreases, finding significant differences ($p \leq 0.05$) between the acidity values obtained at the molar ratios studied. The excess of methanol is necessary for the esterification reaction of free fatty acids to occur, when the proportion of methanol increases, methanolysis increases (Wang *et al.*, 2006; Chai *et al.*, 2014). The lowest value obtained was 1.18 ± 0.03 mg KOH.g⁻¹ AVU (0.60 %) for the esterification carried out at the RMAVU:MeOH of 1:9, for a conversion of 94.10 %, followed of the reaction to RMAVU:MeOH of 1:7 where the acid number was 1.72 ± 0.05 mg KOH.g⁻¹ AVU (0.87 %) with a conversion of 91.43%. Under these conditions, the acidity of the AVU decreases below the 1 % necessary to avoid interference from free fatty acids during alkaline transesterification and promote higher performance in biodiesel production.

Figure 2 shows the behavior of the acidity as a function of the reaction time in the esterification of AVU at 60 °C and 100 rpm, using the catalyst concentration of 0.3 % and the RMAVU:MeOH of 1:7 and 1:9, previously selected.

It is observed that the acid index decreases drastically during the first half hour. For the 1:7 molar ratio, a value of 5.17 mg KOH.g⁻¹ AVU was obtained, with a conversion of 74.24 %,

entre los valores de acidez obtenidos a las relaciones molares estudiadas. El exceso de metanol es necesario para que ocurra la reacción de esterificación de los ácidos grasos libres, cuando aumenta la proporción de metanol se incrementa la metanólisis (Wang *et al.*, 2006; Chai *et al.*, 2014). El menor valor obtenido fue de $1,18 \pm 0,03$ mg KOH.g⁻¹ AVU (0,60 %) para la esterificación realizada a la RMAVU:MeOH de 1:9, para una conversión de 94,10%, seguida de la reacción a RMAVU:MeOH de 1:7 donde el índice ácido fue de $1,72 \pm 0,05$ mg KOH.g⁻¹ AVU (0,87 %) con una conversión del 91,43 %. A estas condiciones la acidez de los AVU disminuye por debajo del 1 % necesario para evitar las interferencias de los ácidos grasos libres durante la transesterificación alcalina y promover un mayor rendimiento en la producción de biodiesel.

En la figura 2 se muestra el comportamiento de la acidez en función del tiempo de reacción en la esterificación de los AVU a 60 °C y 100 rpm, utilizando la concentración de catalizador de 0,3 % y las RMAVU:MeOH de 1:7 y 1:9, seleccionadas previamente.

Se observa que el índice ácido disminuye drásticamente durante la primera media hora. Para la relación molar 1:7 se obtuvo un valor de $5,17$ mg KOH.g⁻¹ AVU, con una conversión del 74,24 %, mientras que para 1:9 el índice ácido fue de $3,50$ mg KOH.g⁻¹ AVU, para una conversión del 82,55 %. Wang *et al.* (2006) reportaron una conversión del 85 % en la primera media hora de reacción. Esto se debe a que en los primeros 30 minutos

while for 1:9 the acid index was 3.50 mg KOH.g⁻¹ AVU, for a conversion of 82.55 %. Wang *et al.* (2006) reported a conversion of 85 % in the first half hour of reaction. This is due to the fact that in the first 30 minutes the boiling point of methanol is exceeded, facilitating the reaction with free fatty acids.

As the reaction time elapses, the acidity continues to decrease, finding significant differences ($p \leq 0.05$) between the acid index values obtained between 0.5 and four (4) hours, reaching values of 1,11 and 0,83 mg KOH.g⁻¹ AVU for the molar ratio 1:7 and 1:9, respectively. At five (5) hours, the acid indices for both reactions are equal (0.62 and 0.61 mg KOH.g⁻¹ AVU), with no significant differences ($p \geq 0.05$), between the values obtained at from this time, up to 10 hours of reaction. At six (6) hours there is a small inflection in the reaction time curve, reaching a minimum of 0.28 mg KOH.g⁻¹ AVU for a 1:7 molar ratio and 0.34 mg KOH.g⁻¹ AVU for the 1:9 molar ratio, for conversions of 98.61 and 98.32%, respectively.

These results coincide with Issariyakul *et al.* (2007) who report a drastic decrease in acidity during the first half hour, which continued progressively until reaching one hour of reaction, however, they did not appreciate significant differences in the acid index of the samples from this time, therefore, they stopped the esterification reaction at five (5) hours, reaching a minimum value of 15 mg KOH.g⁻¹ AVU in the esterification stage. In contrast, in the present study it was found that acidity continues to decrease after one hour of reaction,

se excede el punto de ebullición del metanol, facilitando la reacción con los ácidos grasos libres.

reaching a minimum acid index at six (6) hours of reaction, of 0.28 mg KOH.g⁻¹ oil for molar ratio 1:7 and for

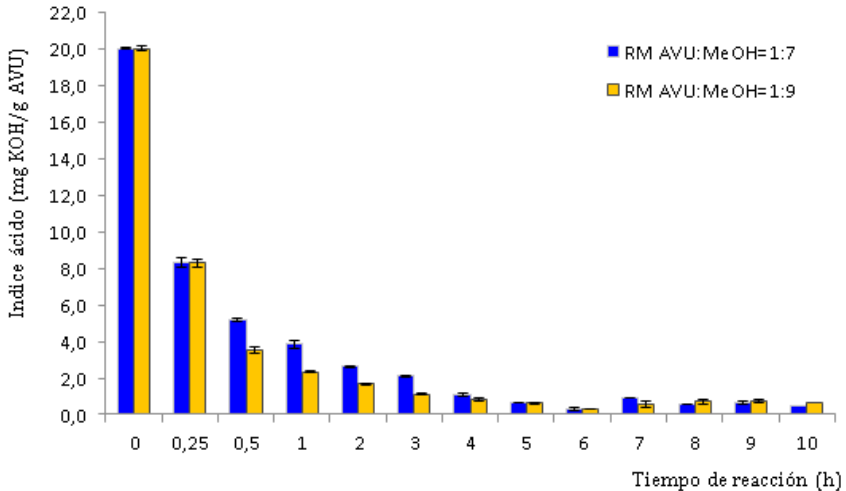


Figura 2. Efecto del tiempo de reacción sobre el índice de acidez de los aceites vegetales usados en la esterificación de los AVU a 60°C y 100 rpm, concentración de catalizador de 0,3% y RMAVU:MeOH de 1:7 y 1:9.

Figure 2. Effect of reaction time on the acid number of vegetable oils used in the esterification of AVU at 60 °C and 100 rpm, catalyst concentration of 0.3% and RMAVU:MeOH of 1:7 and 1:9.

A medida que transcurre el tiempo de reacción, la acidez continúa disminuyendo, encontrándose diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre los valores del índice ácido obtenidos entre las 0,5 y las cuatro (4) horas, alcanzando valores de 1,11 y 0,83 mg KOH.g⁻¹ AVU para la relación molar 1:7 y 1:9, respectivamente. A las cinco (5) horas los índices de acidez para ambas reacciones se igualan (0,62 y 0,61 mg KOH.g⁻¹ AVU), no existiendo diferencias significativas ($p \geq 0,05$), entre los valores obtenidos

the 1:9 molar ratio a minimum of 0.34 mg KOH.g⁻¹ oil.

Alkaline transesterification of esterified used vegetable oils

The previously esterified AVU (AVUe) were subjected to an alkaline transesterification process at 60 °C, with RMAVU:MeOH of 1:6, catalyst concentration of 1 g KOH.g⁻¹ AVU, for one hour at 100 rpm. The product obtained is a mixture of crude biodiesel, water, glycerol, methanol and unreacted catalyst, distributed in two phases, which were separated

a partir de este tiempo, hasta las 10 horas de reacción. A las seis (6) horas hay una pequeña inflexión en la curva del tiempo de reacción, alcanzándose un mínimo de 0,28 mg KOH.g⁻¹ AVU para relación molar 1:7 y de 0,34 mg KOH.g⁻¹ AVU para la relación molar 1:9, para conversiones del 98,61 y 98,32 %, respectivamente.

Estos resultados coinciden con Issariyakul *et al.* (2007) quienes reportan una disminución drástica de la acidez durante la primera media hora, la cual continuó en forma progresiva hasta alcanzar una hora de reacción, sin embargo, no apreciaron diferencias significativas en el índice ácido de las muestras a partir de este tiempo, por lo que detuvieron la reacción de esterificación a las cinco (5) horas, alcanzando un valor mínimo de 15 mg KOH.g⁻¹ AVU en la etapa de esterificación. En contraste, en el presente estudio se encontró que la acidez sigue disminuyendo después de la hora de reacción alcanzando un índice de acidez mínimo a las seis (6) horas de reacción, de 0,28 mg KOH.g⁻¹ aceite para relación molar 1:7 y para la relación molar 1:9 un mínimo de 0,34 mg KOH.g⁻¹ aceite.

Transesterificación alcalina de los aceites vegetales usados esterificados

Los AVU previamente esterificados (AVUe) se sometieron a un proceso de transesterificación alcalina a 60 °C, con RMAVU:MeOH de 1:6, concentración de catalizador de 1g KOH.g⁻¹ AVU, durante una hora a 100 rpm. El producto obtenido es una mezcla del biodiesel crudo, agua, glicerol, metanol y catalizador sin reaccionar,

by decantation. The biodiesel was purified to remove impurities and its composition was determined by gas chromatography. The components were identified by comparison with the chromatogram obtained for the standard, finding that it is a mixture of methyl esters of palmitic, linoleic, oleic, elaidic and stearic acids, whose average percentage composition is shown in figure 3.

Table 2 shows the content of methyl esters present in the biodiesel produced. It is observed that the total concentration of methyl esters is higher in biodiesel obtained from previously esterified AVU (AVUe 1:7-4, AVUe 1:7-6, AVUe 1:9-4, AVUe 1:9-6) compared to the unesterified control (AVUSe).

The highest concentration of methyl esters (93.797 g.L⁻¹) was obtained for transesterification of AVUe-1:7-6 (esterified at a molar ratio 1:7 and a reaction time of 6 h). This value is 4.57 times greater than that obtained with the AVUSe and 1,10 times greater ($p \leq 0.05$) than that found when using the AVU-1:7:4 (esterified at a molar ratio 1:7 and a time of 4 hr reaction). However, it is only 1.03 and 1.01 times higher than the values obtained when using the AVU esterified at the 1:9 ratio for 4 and 6 hours, AVUe-1:9-4 and AVUe-1:9-6, respectively, without statistically significant differences ($p \leq 0.05$) between the values. These results confirm that by reducing the acidity of fats, the content of free fatty acids that negatively affect the transesterification reaction is reduced, obtaining a greater quantity of methyl esters and increasing the yield of the reaction (Wang *et al.*, 2006; Shalaby and El-Gendy, 2012).

distribuidos en dos fases, las cuales se separaron por decantación. El biodiesel se purificó para eliminar las impurezas y su composición se determinó por cromatografía de gases. Los componentes se identificaron por comparación con el cromatograma obtenido para el estándar, encontrando que es una mezcla de ésteres metílicos de los ácidos palmítico, linoleico, oleico, eláidico y esteárico, cuya composición porcentual promedio se muestra en la figura 3.

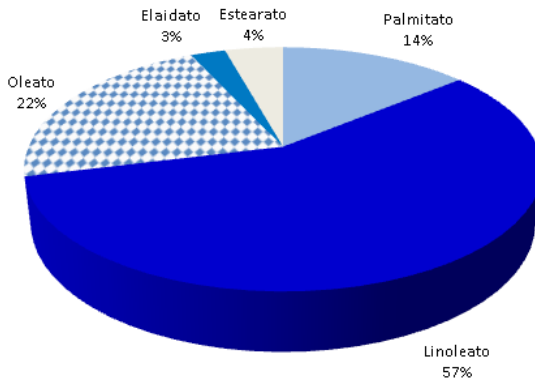


Figura 3. Composición de ésteres metílicos en el biodiesel producido por esterificación ácida y transesterificación alcalina de los aceites vegetales usados.

Figure 3. Composition of methyl esters in biodiesel produced by acid esterification and alkaline transesterification of used vegetable oils.

En el cuadro 2 se muestra el contenido de ésteres metílicos presentes en el biodiesel producido. Se observa que la concentración total de ésteres metílicos es mayor en el biodiesel obtenido a partir de los AVU previamente esterificados (AVUe 1:7-4, AVUe 1:7-6, AVUe 1:9-4, AVUe 1:9-6) en comparación con el control sin esterificar (AVUSe).

La mayor concentración de ésteres metílicos (93,797 g.L⁻¹) se obtuvo para

Figure 4 shows the infrared spectra (FTIR) for the AVU and the biodiesel obtained. The spectra are comparable to each other due to the presence of triglycerides and methyl esters, however, it is observed that there are differences, the peaks present in the AVU at 1,358, 1,161 and 1,088 cm⁻¹ were displaced at 1364, 1169 and 1,013 cm⁻¹ in biodiesel, respectively. Likewise, in the biodiesel spectrum, the formation of new peaks at 1,558, 1,244, 1,204 and 833 cm⁻¹ can be seen,

showing the evident conversion of triglycerides into methyl esters.

The strong signal observed at 1,742 cm⁻¹ is attributed to the presence of C=O stretching vibration of existing carbonyl groups in triglycerides (Nisar *et al.*, 2017) and in long chain aliphatic esters (Silverstein *et al.*, 2014). The peaks present in the range of 1,300-1,000 cm⁻¹ represent the stretching vibrations CO (Tariq *et al.*, 2011), while those observed in the region

Cuadro 2. Contenido de ésteres metílicos del biodiesel obtenido por transesterificación de los aceites vegetales usados a 60 °C concentración de KOH de 1% m/m relación molar AVU: MeOH de 1:6 durante 1 hora.

Table 2. Content of methyl esters of biodiesel obtained by transesterification of used vegetable oils at 60 °C KOH concentration of 1% m/m AVU:MeOH molar ratio of 1:6 for 1 hour.

Pretratamiento	AVU		Biodiesel
	Acidez (%)	Índice ácido (mg KOH.g ⁻¹ AVU)	Concentración total de ésteres metílicos (g.L ⁻¹)
AVUse	9,927 ± 0,219	20,064 ± 0,437	20,515 ± 0,100 ^a
AVUe-1:7-4	0,556 ± 0,004	1,106 ± 0,007	85,601 ± 0,707 ^b
AVUe-1:7-6	0,140 ± 0,002	0,279 ± 0,004	93,797 ± 0,685 ^c
AVUe 1:9-4	0,415 ± 0,008	0,826 ± 0,016	91,493 ± 0,948 ^c
AVUe-1:9-6	0,169 ± 0,044	0,336 ± 0,087	92,692 ± 0,865 ^c

Nota: Valores promedio de tres determinaciones ± 1 desviación estándar. AVUse: Aceites vegetales sin esterificar, AVU-RM-t: Aceites vegetales usados, esterificados a la relación molar (RMAVU:MeOH) de 1:7 y 1:9 y tiempos de reacción de 4 y 6 horas (AVU-1:7-4, AVU-1:7-6, AVU-1:9-4 y AVU-1:9-6). Acidez (%) e Índice ácido (mg KOH.g⁻¹ AVU) inicial de los AVU previo a la transesterificación.

Note: Average values of three determinations ± 1 standard deviation. AVUse: Non-esterified vegetable oils, AVU-RM-t: Used vegetable oils, esterified at the molar ratio (RMAVU: MeOH) of 1:7 and 1:9 and reaction times of 4 and 6 hours (AVU-1:7 -4, AVU-1:7-6, AVU-1:9-4 and AVU-1:9-6). Acidity (%) and acid value (mg KOH.g⁻¹ AVU) of the AVU prior to transesterification.

transesterificación de los AVUe-1:7-6 (esterificados a relación molar 1:7 y un tiempo de reacción de 6 h). Este valor es 4,57 veces mayor al obtenido con los AVUse y 1,10 veces superior ($p \leq 0,05$) al encontrado al usar los AVU-1:7:4 (esterificados a relación molar 1:7 y un tiempo de reacción de 4 h). Sin embargo, es solo 1,03 y 1,01 veces mayor a los valores obtenidos al utilizar los AVU esterificados a la relación 1:9 durante 4 y 6 horas, AVUe-1:9-4 y AVUe-1:9-6, respectivamente, no

of 1,170 and 1,013 cm^{-1} show the stretching vibration of the CO group of the ester. Long chain acid methyl esters present three (3) pattern bands close to 1,250, 1,205 and 1,175 cm^{-1} , which in the spectrum of biodiesel appear at 1,244, 1,204 and 1,169 cm^{-1} (Silverstein *et al.*, 2014).

The peaks at 3,464 and 3,435 cm^{-1} in the spectrum of AVU and biodiesel, respectively, correspond to the stretching and bending vibration of the O-H bonds due to the presence of

encontrando diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0,05$) entre los valores. Estos resultados confirman que al disminuir la acidez de las grasas, se reduce el contenido de ácidos grasos libres que afectan negativamente la reacción de transesterificación, obteniéndose mayor cantidad de ésteres metílicos y aumentando el rendimiento de la reacción (Wang *et al.*, 2006; Shalaby y El-Gendy, 2012).

En la figura 4 se muestran los espectros de infrarrojo (FTIR) para los AVU y el biodiesel obtenido. Los espectros son comparables entre sí debido a la presencia de triglicéridos y ésteres metílicos, sin embargo, se observa que existen diferencias, los picos presentes en los AVU a 1358, 1161 y 1088 cm^{-1} fueron desplazados a 1364, 1169 y 1013 cm^{-1} en el biodiesel, respectivamente. Así mismo, en el espectro del biodiesel se aprecia la formación de nuevos de picos a 1558, 1244, 1204 y 833 cm^{-1} , mostrando la evidente conversión de los triglicéridos en ésteres metílicos.

La fuerte señal observada a 1742 cm^{-1} se atribuye a la presencia de vibración de estiramiento C=O de grupos carbonilo existentes en los triglicéridos (Nisar *et al.*, 2017) y en los ésteres alifáticos de cadena larga (Silverstein *et al.*, 2014). Los picos presentes en el rango de 1.300-1.000 cm^{-1} representan las vibraciones de estiramiento C-O (Tariq *et al.*, 2011), mientras que los observados en la región de 1170 y 1013 cm^{-1} muestran la vibración de estiramiento del grupo C-O del éster. Los ésteres metílicos de ácidos de cadena larga presentan tres (3) bandas patrones cercanas a

water molecules. The peaks observed between 2,980-2,950, 2,950-2,850 and 3,050-3,000 cm^{-1} are the product of the asymmetric and symmetric stretching vibrations of CH in the CH_3 , CH_2 and CH groups can be observed in the ranges of 2,980-2,950, 2,950 - 2,850 and 3,050-3,000 cm^{-1} (Urribarrí *et al.*, 2014; Nisar *et al.*, 2017). The peaks in the 1.400 - 1.200 cm^{-1} region confirmed the bending vibrations of the aliphatic CH_2 and CH_3 groups. Similarly, the bending of HCH occurs at 1,358 cm^{-1} and the bending vibration around 1,458 cm^{-1} show the presence of CH_2 . The bending vibrations of the CH_3 , CH_2 and CH groups appeared at 1,460-1,350, 1,350-1,150 and 713 cm^{-1} , respectively (Nisar *et al.*, 2017).

Conclusions

The vegetable cooking oils used were classified as acidic fats, because they presented high viscosity and high acidity, indicating the presence of a high amount of free fatty acids.

The esterification pretreatment (60 °C and 100 rpm, with RMAVU:MeOH of 1:7 and HCl concentration of 0.3 %), reduced the initial acidity of the fats (10.08 \pm 0.22 %) below of 1 %, with a conversion of AGL to methyl esters of 94.48 and 98.61 % for reaction times of 4 and 6 hours, respectively.

The biodiesel obtained by transesterification of the AVU previously treated under these conditions is a mixture of the methyl esters of linoleic, palmitic, oleic, stearic and elaidic acids, obtaining the highest concentration of methyl esters of 93.797 \pm 0,685 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$.

1250, 1205 y 1175 cm^{-1} , los cuales en el espectro del biodiesel aparecen a 1244, 1204 y 1169 cm^{-1} (Silverstein *et al.*, 2014).

The FTIR spectra confirmed the conversion of fatty acids to methyl esters, so it can be used as fuel for diesel engines. Further studies will be

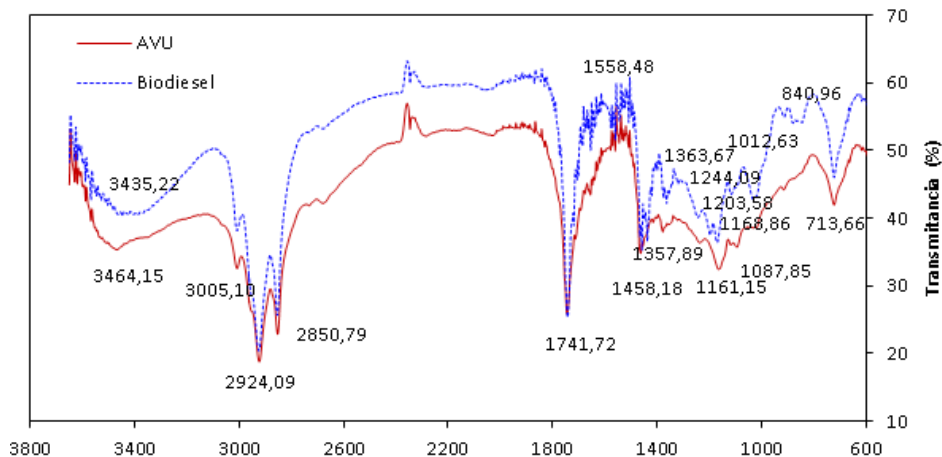


Figura 4. Espectro de infrarrojo (FTIR) de los aceites vegetales usados (AVU) y el biodiesel producido.

Figure 4. Infrared spectrum (FTIR) of used vegetable oils (AVU) and the biodiesel produced.

Los picos a 3464 y 3435 cm^{-1} en el espectro de los AVU y el biodiesel, respectivamente, corresponden a la vibración de estiramiento y flexión de los enlaces O-H debido a la presencia de moléculas de agua. Los picos observados entre 2980-2950, 2950-2850 y 3050-3000 cm^{-1} son producto de las vibraciones de estiramiento asimétricas y simétricas de C-H en los grupos CH_3 , CH_2 y CH se pueden observar en los rangos de 2980-2950, 2950-2850 y 3050-3000 cm^{-1} (Urribarrí *et al.*, 2014; Nisar *et al.*, 2017). Los picos en la región 1400 - 1200 cm^{-1} confirmaron las vibraciones de flexión de los grupos alifáticos CH_2

carried out to evaluate the quality of the biodiesel obtained, its adjustment to international standards and its possible uses in engines, either directly or in mixtures.

Acknowledgments

The authors acknowledge to the Instituto de Superficies y Catálisis of the Facultad de Ingeniería de la Universidad del Zulia, for sample analysis by infrared spectrometry (FTIR) and the Consejo de Desarrollo Científico, Humanístico y Tecnológico (CONDES-CDCHT) of the Universidad del Zulia, for the financing of this

y CH_3 . De forma similar, la flexión de HCH tiene lugar a 1358 cm^{-1} y la vibración por flexión alrededor a 1458 cm^{-1} muestran la presencia de los CH_2 . Las vibraciones de flexión de los grupos CH_3 , CH_2 y CH aparecieron en $1460\text{-}1350$, $1350\text{-}1150$ y 713 cm^{-1} , respectivamente (Nisar *et al.*, 2017).

Conclusiones

Los aceites vegetales de cocina usados se clasificaron como grasas ácidas, debido a que presentaron alta viscosidad y elevada acidez indicando la presencia de una elevada cantidad de ácidos grasos libres.

El pretratamiento de esterificación ($60\text{ }^\circ\text{C}$ y 100 rpm , con RMAVU:MeOH de 1:7 y concentración de HCl de 0,3 %), redujo la acidez inicial de las grasas ($10,08 \pm 0,22\%$) por debajo del 1%, con una conversión de AGL a ésteres metílicos del 94,48 y 98,61% para tiempos de reacción de 4 y 6 horas, respectivamente.

El biodiesel obtenido por transesterificación de los AVU previamente tratados a estas condiciones es una mezcla de los ésteres metílicos de los ácidos linoleico, palmítico, oleico, esteárico y eláidico, obteniendo la mayor concentración de ésteres metílicos de $93,797 \pm 0,685\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$.

Los espectros FTIR confirmaron la conversión de los ácidos grasos a ésteres metílicos, por lo que puede ser utilizado como combustible para motores diésel. Posteriores estudios serán realizados para evaluar la calidad del biodiesel obtenido, su ajuste a las normas internacionales y

project under No. VAC-CONDES-CC-0431-15.

End of English Version

sus posibles usos en motores, bien sea directo o en mezclas.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Instituto de Superficies y Catálisis de la Facultad de Ingeniería de la Universidad del Zulia, por el análisis de las muestras por espectrometría infrarroja (FTIR) y al Consejo de Desarrollo Científico, Humanístico y Tecnológico (CONDES-CDCHT) de la Universidad del Zulia, por el financiamiento de este proyecto bajo el N° VAC-CONDES-CC-0431-15.

Literatura citada

- ASTM D1298-12b. 2012. Standard Test Method for Density, Relative Density, or API Gravity of Crude Petroleum and Liquid Petroleum Products by Hydrometer Method, ASTM International, West Conshohocken, PA. Disponible en: <http://www.astm.org/>.
- ASTM D445. 2015. Standard Test Method for Kinematic Viscosity of Transparent and Opaque Liquids (and the Calculation of Dynamic Viscosity) ASTM International, West Conshohocken, PA. Disponible en: <http://www.astm.org/>.
- ASTM D482-13. 2013. Standard Test Method for Ash from Petroleum Products, ASTM International, West Conshohocken, PA. Disponible en: <http://www.astm.org/>.
- Atabani, A., A. Silitonga, I. Badruddin, T. Mahlia, H. Masjuki, and S. Mekhilef. 2012. A comprehensive review on biodiesel as an alternative energy resource and

its characteristics. Renewable and sustainable energy reviews. 16(4): 2070-2093.

acid content. Bioresource Technology. 102: 10907-10914.

- Bautista L., G. Vicente, R. Rodríguez and M. Pacheco. 2009. Optimization of FAME production from waste cooking oil. Biomass and Bioenergy. 33: 862 - 872.
- Bonacia, V. y J. Maldonado. 2012. Producción de biodiesel mediante esterificación/ transesterificación de aceites vegetales usados. Trabajo de grado. Universidad Rafael Urdaneta. Zulia. Venezuela.
- Chai, M., Q. Tu, J. Yang and M. Lu. 2014. Esterification pretreatment of free fatty acid in biodiesel production, from laboratory to industry. Fuel Processing Technology. 125: 106-113.
- Chhetri, A., K. Watts and M. Islam. 2008. Waste cooking oil as an alternate feedstock for biodiesel production. Energies. 1(1): 3-18.
- COVENIN 325-01. 2001. Aceites y grasas vegetales. Determinación de la acidez. Comisión Venezolana de Normas Industriales, Caracas. 3era revisión.
- Cvengros, J. and Z. Cvengrosova. 2004. Used frying oils and fat and their utilization in the production of methyl esters of higher fatty acids. Biomass & Bioenergy. 27: 173-181.
- Demirbas, A. 2009. Biodiesel from waste cooking oil via base-catalytic and supercritical methanol transesterification. Energy Conversion and Management. 50(4), 923-927.
- Diya'uddeen, B., A. Abdul and W. Daud. 2012. Performance evaluation of biodiesel from used domestic waste oils. A review. Process Safety and Environmental Protection. 90: 164-179.
- Duti, I., M. Maliha and S. Ahmed. 2016. Biodiesel Production from Waste Frying Oil and Its Process Simulation. Journal of Modern Science and Technology. 4(1).
- Encinar, J., N. Sánchez and G. Martínez. 2011. Study of biodiesel production from animal fats with high free fatty
- Felizardo, P., J. Neiva and I. Raposo. 2006. Production of biodiesel from waste frying oils. Waste Management. 26: 487-494.
- Guerrero, C., A. Guerrero and F. Sierra. 2011. Biodiesel production from waste cooking oil. In: Biodiesel - Feedstocks and Processing technologies. Dr. Margarita Stoytcheva (Ed.) ISBN 978-953-307-713-0, In Tech. Chapter 2: 23-44.
- Issariyakul, T., M. Kulkarni and A. Dalai. 2007. Production of biodiesel from waste fryer grease using mixed methanol/ethanol system. Fuel processing Technology. 88: 429-436.
- Kalam, M., H. Masjuki, M. Jayed and A. Liaquat. 2011. Emissions and performance characteristics of an indirect ignition diesel engine fuelled with waste cooking oil. Energy. 36: 397-42.
- Mathiyazhagan, M., and A. Ganapathi. 2011. Factors affecting biodiesel production. Research in plant Biology. 1(2): 1-5.
- Meher, L., V. Vidya and S. Naik. 2006. Technical aspects of biodiesel production by transesterification a review. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 10: 248-268.
- Montero, G., B. Jaramillo, A. Vázquez, M. Coronado, C. García y L. Toscano. 2016. Experiencias de aprovechamiento de residuos para la generación de biodiesel en Colombia y México. Revista Internacional de Contaminación Ambiental (Especial Residuos Sólidos) 12: 77-90.
- Mustafa, T., S. Soomro, M. Najam, M. Amin and I. Ahmad. 2016. Production of Biodiesel through Catalytic Transesterification of Jatropha Oil. Journal of Applied and Emerging Sciences. 6(1): 9-13.
- Nisar, J., R. Razaq, M. Farooq, M. Iqbal, R. Khan, M. Sayed, A. Shahd and I. Rahman. 2017. Enhanced biodiesel production from Jatropha oil using calcined waste animal bones as




- catalyst. *Renewable Energy*. 101: 111-119.
- Papageorgiou, A., J. Barton, and A. Karagiannidis. 2009. Assessment of the greenhouse effect impact of technologies used for energy recovery from municipal waste: a case for England. *Journal Environment. Manager*. 90: 2999–3012.
- Patil, P., V. Gude, H. Reddy, T. Muppaneni and S. Deng. 2012. Biodiesel production from waste cooking oil using sulfuric acid and microwave irradiation processes. *Journal of Environmental Protection*. 3(01): 107.
- Restrepo, J. 2012. El desarrollo sostenible y el reciclaje del aceite usado de cocina a la luz de la jurisprudencia y el ordenamiento jurídico colombiano. *Producción Más Limpia*. 7(1): 109-122.
- Shalaby, E. and N. El-Gendy. 2012. Two steps alkaline transesterification of waste cooking oil and quality assessment of produced biodiesel. *Int. J. Chem. Biochem. Sci*. 1(3): 30-35.
- Silverstein, R., F. Webster, D. Kiemle and D. Bryce. 2014. Spectrometric identification of organic compounds. John Wiley & Sons.
- Sinha, Sh., A. Agarwal, and S. Garg. 2008. Biodiesel development from rice bran oil: Transesterification process optimization and fuel characterization. *Energy Conversion & Management*. 49: 1248 – 1257.
- Solomons, T. W. 1985. *Química orgánica*. Primera Edición. Editorial Limusa, S. A de C. V. México. 1123p.
- Tariq, M., S. Ali, F. Ahmad, M. Ahmad, M. Zafar, N. Khalid and M. Khan. 2011. Identification, FT-IR, NMR (1 H and 13 C) and GC/MS studies of fatty acid methyl esters in biodiesel from rocket seed oil. *Fuel Processing Technology*. 92(3): 336-341.
- Urribarrí, A., A. Zabala, J. Sánchez, E. Arenas, C. Chandler, M. Rincón y C. Aiello Mazzarri. 2014. Evaluación del potencial de la borra de café como materia prima para la producción de biodiesel. *Multiciencias*. 14(2): 129-139
- Uzun, B., M. Kilic and N. Ozbay. 2012. Biodiesel production from waste frying oils: Optimization of reactions parameters and determination of fuel properties. *Energy*. XXX: 1-5.
- Wade, L. G. 1993. *Química orgánica*. Segunda Edición. Prentice Hall Hispanoamericana, S. A. México. 1312p.
- Wang Y., S. Ou and P. Liu. 2006. Comparison of two processes to synthesize biodiesel by waste cooking oil. *Journal of Molecular Catalysis. A: Chemical*, 252: 107-112.

Sensory attributes, nutritional values and innocuousness of hamburgers made with cherry pulp, soy and pork meat

Atributos sensoriales, valor nutricional e inocuidad de hamburguesas elaboradas con pulpa de cereza, soya y carne de cerdo

Atributos sensoriais, valor nutricional e segurança de hambúrgueres feitos com polpa de cereja, soja e carne de porco

Nelson E. Loyola Lopez*, Carlos Acuña Carrasco and
Mariela A. Arriola Herrera

Department of Agricultural Sciences. Faculty of Agricultural Sciences and Forestry. Maule Catholic University, 684, Carmen, Curicó, Chile. E-mail: (NL) nloyola@ucm.cl, ; (CA) cacunac@gmail.com, ; (MA) marriola@ucm.cl, .

Abstract

The addition of pulps and extracts from some fruits has proved to be good to replace fat in food, aside from the addition of a higher nutritional value to chopped-meat products, such as hamburgers. In this work, hamburgers made with pork meat with the addition of cherry pulp and soy protein were assessed; physical, chemical and microbiological aspects were analyzed as well as their sensorial qualities. Three treatments with different percentages such as; pork meat 63.4 %, cherry pulp 8 %, soy protein 4.3 % and biosalt 1.1 % were made. Moisture was determined by the method (AOAC 950.46). In addition, pH and the percentage of lactic acid present in hamburgers was measured, presence of *E. coli*, as well as the sensorial evaluation according to their sensorial attributes and their overall acceptability. The content of moisture was not significantly different among the treatments ($p \leq 0.05$). Percentage of fat changed 30.5 % (T_1) and 34.4 % (T_3), being observed significant differences between both

Recibido el 01-11-2020 • Aceptado el 24-06-2020.

*Autor de correspondencia. Correo electrónico: nelsonloyola@hotmail.com

treatments ($p \leq 0.05$). The pH varied between 32 % (T_1), 5.5 % (T_2) and 23.7 % (T_3) as compared with the hamburgers made in the control treatment T_0 , being significantly different from those made in treatments T_1 and T_2 . The content of lactic acid showed an increase of 71.4 % (T_1), 69.2 % (T_2) and 36.4 % (T_3), being significantly different among them. Significant differences ($p \leq 0.05$) in the perception of the attributes color and texture on the assessed hamburgers were detected, which did not happen with the attributes flavor and aroma. The microbiological evaluation, it was observed no presence of *E.coli*. The hypothesis of this study was not completely fulfilled because the addition of cherry pulp to make hamburgers effectively reduced the fat content, but the sensorial chemical aspects, acceptability and innocuousness did not show any improvement as compared to the control treatment.

Key words: fatty acid, soy protein, cherry pulp, pork meet.

Resumen

Se ha demostrado que la adición de pulpas y extractos de algunas frutas es buena para reemplazar las grasas en los alimentos, aparte de la adición de un mayor valor nutricional a los productos de carne picada, como las hamburguesas. En este trabajo se elaboraron hamburguesas de carne de cerdo, con la adición de pulpa de cerezas, proteína de soya y se analizaron los atributos físicos, químicos, microbiológicos y su calidad sensorial. Se formularon tres tratamientos con diferentes porcentajes de carne de cerdo 63.4 %, pulpa de cereza 8 %, proteína de soya 4.3 % y biosal 1.1 % de pulpa de cereza. Se determinó la humedad con el método (AOAC 950.46). Se midió pH y el porcentaje de ácido láctico presente en las hamburguesas. Se evaluó la presencia de *E. coli* mediante el método recuento en placa y la evaluación sensorial de las hamburguesas elaboradas, según sus atributos sensoriales y aceptabilidad general. El contenido de humedad no presentó diferencias significativas entre los diferentes tratamientos ($p \leq 0,05$). El porcentaje de grasa varió un 30,5 % (T_1) y 34,4 % (T_3) siendo detectadas diferencias significativas en ambos tratamientos ($p \leq 0,05$). El pH varió entre un 32 % (T_1) 25,5 % (T_2) y un 23,7 % (T_3) respecto a las hamburguesas elaboradas con el tratamiento T_0 , siendo significativamente diferentes con el tratamiento T_1 y T_2 . El contenido de ácido láctico aumento a 71,4 % (T_1); 69,2 % (T_2) y 36,4 % (T_3), siendo significativamente diferente. Se detectaron diferencias significativas ($p \leq 0,05$) en la percepción de los atributos color y textura en las hamburguesas evaluadas, lo que no ocurrió con los atributos sabor y aroma. Respecto de la evaluación microbiológica, no se observó presencia de *E. coli*. La hipótesis del presente estudio no fue completamente aceptada, debido a que la adición de pulpa de cereza en las hamburguesas elaboradas, redujo el contenido de grasa, sin embargo, tanto los parámetros químicos, como sensoriales de aceptabilidad e inocuidad no mostraron una mejora en comparación con el tratamiento testigo.

Palabras clave: ácidos grasos, proteína de soya, pulpa de cereza, carne de cerdo.

Resumo

A adição de polpas e extratos de algumas frutas mostrou-se boa para substituir as gorduras nos alimentos, além de agregar um maior valor nutricional aos produtos de carne picada, como hambúrgueres. Neste trabalho, foram confeccionados hambúrgueres suínos, com adição de polpa de cereja, proteína de soja e os atributos físicos, químicos, microbiológicos e sua qualidade sensorial. Três tratamentos foram formulados com diferentes porcentagens de 63,4 % de porco, polpa de cereja 8 %, proteína de soja 4,3 % e polpa de cereja biosal 1,1 %. A umidade foi determinada com o método (AOAC 950.46). Foram medidos o pH e a porcentagem de ácido láctico presente nos hambúrgueres. A presença de *E. coli* foi avaliada pelo método da contagem de placas e pela avaliação sensorial dos hambúrgueres, de acordo com seus atributos sensoriais e aceitabilidade geral. O teor de umidade não apresentou diferenças significativas entre os diferentes tratamentos ($p \leq 0,05$). O percentual de gordura variou de 30,5 % (T1) e 34,4 % (T3), sendo detectadas diferenças significativas nos dois tratamentos ($p \leq 0,05$). O pH variou entre 32 % (T1) 25,5 % (T2) e 23,7 % (T3) em relação aos hambúrgueres feitos com o tratamento T0, sendo significativamente diferente nos tratamentos T1 e T2. O teor de ácido láctico aumentou para 71,4 % (T1); 69,2 % (T2) e 36,4 % (T3), sendo significativamente diferentes. Diferenças significativas ($p \leq 0,05$) foram detectadas na percepção dos atributos de cor e textura nos hambúrgueres avaliados, o que não ocorreu com os atributos sabor e aroma. Em relação à avaliação microbiológica, não foi observada presença de *E. coli*. A hipótese do presente estudo não foi totalmente aceita, uma vez que a adição de polpa de cereja aos hambúrgueres processados reduziu o teor de gordura, no entanto, tanto os parâmetros químicos quanto os sensoriais de aceitabilidade e segurança não apresentaram melhora na comparação com o tratamento controle.

Palavras-chave: ácidos graxos, proteína de soja, polpa de cereja, carne de porco.

Introduction

In the last decade, the number of diseases associated with food with high contents of fat has dramatically increased, which has caused a change in consumers' mentality, who seek for a healthier life; this has caused the need to supply a diet rich in saturated fats to achieve a healthier one (Carrapiso, 2007). Furthermore, it should be added that the pace of life of the world's population today makes evident the

Introducción

En la década pasada, el número de enfermedades asociadas con alimentos con altos contenidos de grasa se incrementó dramáticamente, lo cual ha causado un cambio en la mentalidad de los consumidores, para intentar una vida saludable; esto ha creado la necesidad de sustituir las dietas ricas en grasas saturadas para lograr una más saludable (Carrapiso, 2007). Por otro lado, cabe añadirse que el ritmo

necessity of the consumption of fast food with a high energy value and with the time of preparation as an increasing additional factor (Vernam and Sutherland, 1998), hamburger is one of these kinds of food. At the beginning, chopped-meat products such as hamburgers were determined by economic factors and by the need to use low-quality meats. This factor is still important for many consumers, but it added the worldwide need to consume quality and safe food (Vernam and Sutherland, 1998).

One of the main limitations of meat and its by-products is the amount of lipids they have (Morrissey *et al.*, 1998). This is the reason why in meat by-products it has been searched for their components, modifying their percentages of lipids and fatty acids by adding a huge variety of functional ingredients either fiber, vegetable protein, monounsaturated or polyunsaturated fatty acids, vitamins, calcium, phytochemicals, natural extracts or pulp (Restrepo, 2008). At present, importance has given to the use of natural compounds in the food industry so as to incorporate them into the making of chopped-meat (Jiménez *et al.*, 2001).

The addition of pulps and extracts from some fruits has proved to be good to replace fat in food, aside from the addition of a higher nutritional value to chopped-meat products, such as hamburgers; however, according Restrepo (2008), in some cases these additions offer products of a lower sensorial quality and of lower physicochemical characteristics. From what has been stated above, in the

de vida de la población mundial de hoy, pone en evidencia la necesidad creciente del consumo de comida rápida con un alto valor energético y con el tiempo de preparación como un factor adicional. (Vernam y Sutherland, 1998), la hamburguesa es una de esta clase de alimentos. El inicio de productos de carne picada como las hamburguesas, fueron determinados por factores económicos y por la necesidad de usar carnes de baja calidad. No obstante, este es un factor muy importante para muchos consumidores, pero adicionalmente, el mundo necesita consumir alimentos seguros y de calidad. (Vernam y Sutherland, 1998).

Una de las principales limitaciones de la carne y de sus productos derivados es la cantidad de lípidos que contienen (Morrissey *et al.*, 1998). Esta es la razón por la que en la carne y sus subproductos se ha analizado sus componentes, modificando el porcentaje de lípidos y ácidos grasos por la adición de una variedad de ingredientes funcionales, entre ellos, fibras, proteínas vegetales, ácidos grasos monoinsaturados y poliinsaturados, vitaminas, calcio, fitoquímicos, pulpas o extractos naturales (Restrepo, 2008). En la actualidad, se ha dado importancia al uso de compuestos naturales en la industria de alimentos, con la incorporación de estos, en la elaboración de carne picada (Jiménez *et al.*, 2001).

La adición de pulpas y extractos de algunos frutos ha demostrado ser buena para reemplazar la grasa de los alimentos, aparte de la adición

following study the incorporation of new raw materials to improve the quality of this product will be assessed.

A new alternative will be used in the traditional composition of hamburgers, the addition of cherry pulp and soy protein. Furthermore, the impact of the addition of cherry pulp in fat, their physicochemical 66 characteristics, their sensorial attributes and their degree of innocuousness will be assessed. To develop this scientific study the following hypothesis has been determined: the addition of cherry pulp (*Prunus avium* L.) to make hamburgers would reduce their fat content and would improve their chemical and sensorial attributes and their degrees of innocuousness and acceptability.

The objective of this work was analyzed physical, chemical and microbiological attributes as well as their sensorial qualities of hamburgers made with pork meet with the addition of cherry pulp and soy protein and their degrees of innocuousness and acceptability.

Materials and methods

The development of this scientific study was carried out in the laboratories of the School of Agronomy, Faculty of Agricultural and Forestry Sciences from the Catholic University of Maule located in the province of Curicó, Maule, Chile. It was carried out in the season 2014, specifically between november and march to have it coincide with the dates of harvest of the cherries used.

de un mayor valor nutricional a los productos de carne picada, como las hamburguesas; sin embargo, de acuerdo con Restrepo (2008), en algunos casos esta adición, genera productos de baja calidad sensorial y de bajas características fisicoquímicas. De lo expuesto anteriormente, en el presente estudio, la incorporación de nuevos materiales para mejorar la calidad de estos productos, se evaluará.

La adición de pulpa de cereza y proteína de soya, puede ser usada como una nueva alternativa en la composición tradicional de hamburguesas. Por lo tanto, se puede valorar el impacto de la adición de pulpa de cerezas en las grasas, en 66 características fisicoquímicas, en sus atributos sensoriales y en el grado de inocuidad. Para desarrollar este estudio científico, se formuló la siguiente hipótesis: la adición de pulpa de cerezas (*Prunus avium* L.) para elaborar hamburguesas puede reducir el contenido de grasa y puede mejorar los atributos químicos y sensoriales, el grado de inocuidad y la aceptabilidad.

El objetivo de este trabajo fue analizar los atributos fisicoquímicos y microbiológicos, así como la calidad sensorial, grado de inocuidad y aceptabilidad de hamburguesas elaboradas de carne de cerdo, con la adición de pulpa de cerezas y proteína de soya y la evaluación posterior del grado de inocuidad y aceptabilidad.

Materiales y metodos

El desarrollo de este estudio científico fue realizado en los

Vegetal materials

The plant material worked with came from cherries (*Prunus avium* L.) cv. Lapins from "The Peach" orchard, belonging to Verfrut Exports, located 9 km away from the town called "Las Cabras" (34°10'10.01" S Lat: 71°18'15.01" Long O), on the way to Llavería, 6th region from Bernardo O'Higgins liberation fighter. The cherry plantation has 15.2 ha with a planting area of 4.5 x 2.5 m, planted in 2008, lead by a central axis and drip irrigation. The thermal zone regime is characterized by average temperatures, ranging between 30.5 °C (maximum) and 4.5 °C (minimum). The frost-free period is 254 days, with an average of 7 frosts per year, registering 810 cold hours annually (Santibáñez and Uribe, 1993). Water regime shows an annual average rainfall of 529 mm, a water shortage of 1012 mm and a dry period of 8 months. The reduced influence of the ocean determines a significant temperature range and hot summers (Santibáñez and Uribe, 1993).

Pork pulp

Pork pulp was purchased in a certificated place for the sale of meat (butcher's at Jumbo supermarket) in Curicó, using pork pulp from meat without being preserved and which was manufactured by San Vicente Slaughterhouse Ltd., located on Highway M-66- G, km 19.2, San Vicente, O'Higgins Region, Chile. The pork pulp was purchased with about "20 % of fat", i.e., 80 % of meat and 20 % of fat. Once the raw material was purchased, it was kept in a freezer (Electromix brand,

laboratorios de la Escuela de Agronomía, Facultad de Agricultura y Ciencias Forestales de la Universidad Católica de Maule, localizada en la provincia de Curicó, Maule, Chile. Fue realizado en el año 2014, específicamente entre noviembre y marzo, lo cual coincidió con los datos de cosecha de las cerezas usadas.

Material vegetal

El material de plantas de trabajo consistió en cerezas (*Prunus avium* L.) cv. Lapins, provenientes del huerto "The Peach" provenientes de Verfrut Exports, localizado a 9 km del pueblo llamado "Las Cabras" (34°10'10.01 "S Lat: 71°18'15.01" Long O), en la vía de Llavería, sexta región de Bernardo O'Higgins, combatiente de la liberación. La plantación de cerezas tiene 15,2 ha, con un área de plantación de 4,5 x 2,5 m, plantadas en hileras en el 2008 y riego por goteo. El régimen térmico de la zona es caracterizado por temperaturas promedios en el rango entre 30,5 °C (máximo) y 4,5 °C (mínimo). El periodo libre de heladas es de 254 días, con un promedio de siete heladas por año, registrando 810 horas de frío anualmente (Santibáñez y Uribe, 1993). El régimen del agua muestra una precipitación promedio anual de 529 mm, una escasez de agua de 1012 mm y un periodo de sequia de ocho (8) meses. La influencia reducida del oceano determina un significativo rango de temperaturas y veranos calientes (Santibáñez y Uribe, 1993).

Pulpa de cerdo

La pulpa de cerdo fue adquirida en un sitio certificado para la venta de carne (Carnicería y Supermercado Jumbo) en Curicó, usando pulpa

model EFUP195YSKG), at $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$, in a laboratory from the Faculty of Agricultural Sciences of the Catholic University of Maule.

To prepare this study, the inputs used were; cherry pulp (*Prunus avium* L.), base for hamburgers (Tamix), pork with 20 % of fat, soy protein, biosalt and water. The equipments used were: a digital pH meter, (brand Hanna, model HI8424), a Soxhler equipment, a refrigerant (straight), a trap, a heating blanket, a Quimis brand, (model Q-321A), an analytical balance, (Mettler Toledo brand, model AB204-S), a forced-air oven, (Binder brand, FD-115 model), a base blender, (Somela brand, Easyline BL1900 model) and plastic bags 15 x 15 cm.

Harvest

The cherry harvest time was determined by harvest indicators and by the maturity parameters used by the technical department of Verfrut, being dark red the color in this case, with an acidity of 0.6 % and a presence of soluble solids higher or equal to 16 °Brix, plus pulp firmness bigger than 75 Durufel units (Muñoz and Rodríguez, 2013). Once the plant material was left in the labs of the Catholic University of Maule, its disinfection was carried out with hypochlorite 5 % and then frozen at $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ until being used a month and a half later.

Soy protein

Soy protein was hydrated in 180 mL of boiling water at a 1- 3 relation, being determined with this procedure the double amount of soy protein in the components described (Acuña, 2012). Pork, cherry pulp and hydrated

de cerdo de carne sin preservantes, la cual fue manufacturada por la planta de sacrificio San Vicente Ltd., localizada en la autopista M-66-G-km 19,2 San Vicente, Region O'Higgins, Chile. La pulpa de cerdo fue comprada con cerca de "20% de grasa", esto es 80% de carne y 20% de grasa. Una vez adquirido, el material fue almacenado en un congelador (Marca Electromix, modelo EFUP195YSKG) a $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ en un laboratorio de la Facultad de Agricultura y Ciencias Forestales, Universidad Católica de Maule.

Para preparar este estudio, la inversión usada fue: pulpa de cerezas (*Prunus avium* L.), base de hamburguesas (Tamix), cerdo con 20 % de grasa, proteína de soya, biosal y agua. Los equipos usados fueron: pHmetro digital (Marca Hanna, modelo HI8424), un extractor Soxhler, un refrigerador (convencional), una trampa, una manta de calentamiento, (Marca Quimis, modelo Q-321A), una balanza analítica, (Marca Mettler Toledo, modelo AB204-S), un horno de aire frozado (Marca Binder, modelo FD-115), un procesador (Marca Somela, Easyline modelo BL1900) y bolsas plásticas 15 x 15 cm.

Cosecha

El tiempo de cosecha de las cerezas fue determinado por el indicador de cosecha y por los parámetros de maduración usados por el departamento técnico de Verfrut, en este caso, presencia de color rojo oscuro, acidez de 0,6 % y presencia de sólidos solubles mayor o igual a 16 °Brix, pulpas con firmezas superiores a 75 unidades de Durufel (Muñoz y Rodríguez, 2013). Posteriormente, el

soy protein were separately grounded in a blender; (brand Somela Easyline, L-1900 model). Once this procedure finished, all ingredients were mixed and then they were added to the mixture; pork meet 63.4 %, cherry pulp 8 %, soy protein 4.3 % and biosalt 1.1%, the basis to make hamburgers until being completely homogenized. Then 120 mL of cold boiled water were added (pork meet 920 g.mL⁻¹; cherry pulp 80 g.mL⁻¹; soy protein 60 g.mL⁻¹ and biosalt 15 g.mL⁻¹) to it and mixed until water was fully absorbed; salt then was added and homogenized.

Once the mixture was prepared, 50 g hamburgers were made and wrapped in plastic bags of 15 x 15 cm and then they were frozen. Differences among treatments only are related to the addition of different percentages of cherry pulp, 8 %, 12 % and 15 % (figure not shown).

Physicochemical analysis

The physicochemical analysis was performed according to (AOAC, 1990).

pH: 10 g of hamburger with 100 mL of distilled water were mixed in a blender for two minutes, the resulting liquid was measured with a digital pH meter, (Hanna brand, HI8424 model), previously calibrated with buffers between pH 4.0 and 7.0. Acidity: A 50 mL burette was used for sodium hydroxide 0.1 N. 10 g of hamburger was taken to which 200 mL of distilled water were added and then liquefied for two minutes in a blender, (model Somela Easyline L-1900), 250 mL were filtered and measured, and then an aliquot of 25 mL and 250 mL of distilled water

material fue trasladado al laboratorio de la Universidad Católica de Maule, se realizó una desinfección con hipoclorito al 5 % y se almacenó en el congelador a -18 hasta ser usado un mes y medio después.

Proteína de soya

La proteína de soya fue hidratada en 180 mL de agua hirviendo con una relación 1:3, siendo determinado con este procedimiento una cantidad doble de proteína de soya en los componentes descritos (Acuña, 2012). El cerdo, la pulpa de cerezas y la proteína de soya hidratada fueron homogeneizadas por separado en un procesador (Marca Somela, modelo Easyline L-1900). Una vez finalizado este procedimiento, todos los ingredientes se mezclaron y entonces se fue adicionando a la mezcla: carne de cerdo (63,4 %), pulpa de cerezas (8 %), proteína de soya (4,3 %) y biosal (1,1 %), esta base para hacer las hamburguesas se homogeneizó completamente. Seguidamente, se adicionaron 120 mL de agua hervida fría (Carne de cerdo 920 g.mL⁻¹; pulpa de cerezas 80 g.mL⁻¹; protein de soya 6 g.mL⁻¹ y biosal 15 g.mL⁻¹), todo esto se mezcló, hasta que el agua fue completamente absorbida; entonces se adicionó sal y se homogeneizó totalmente.

Una vez que fue preparada la mezcla, se hicieron hamburguesas de 50g y se envolvieron en bolsas plásticas de 15 x 15 cm y posteriormente, se congelaron. Las diferencias entre los tratamientos, solo están relacionados con los diferentes porcentajes de pulpa de cerezas (8 %, 12 % y 15 %) (figura no mostrada).

were put in an Erlenmeyer flask until being titrated. The result was expressed as percentage of lactic acid. Determination of fat (Soxhler): In a Soxhler equipment, raw fat was determined; it a sample was dried at 103 °C, out of which 5 g were previously weighed and placed on heavy filter papers, and then the filter paper with the sample were put into a Soxhler rotary equipment. 100 mL balls were dried and weighed for a subsequent fat extraction with petroleum ether and diethyl ether for about 6 hours. After this, the final extraction of raw fat was dried and weighed, which was expressed as percentage of raw fat by weight difference (AOAC, 1990).

Moisture: It was measured in an air oven with the AOAC 950.46 method. This method is based on the gravimetric determination of the mass loss of the sample, until a constant mass is achieved in an air oven at 103 °C (AOAC, 1990). A Petri dish without any sample was dried for one hour at 103 °C in an oven, (Binder brand, model FD-115), then the Petri dish without sample was cooled for 30 minutes and its weight was measured. Once the capsule was cold, a homogeneous sample of hamburger was added and again it was dried for 5 hours at 103 °C in an oven, (Binder brand, model FD-115). After five hours it was allowed to dry for 35 minutes and its weight was measured. Moisture was expressed in moisture percentage of a hamburger.

Microbiological analysis

Counting analysis were conducted in Petri plates to evaluate the presence of *E. coli* in each of the hamburgers to

Análisis fisicoquímicos

Los análisis fisicoquímicos fueron realizados de acuerdo a los métodos AOAC (AOAC, 1990).

pH: 10 g de hamburguesas se mezclaron con 100 mL de agua destilada en una licuadora durante dos minutos, en el líquido resultante fue realizada la medición con un pHmetro digital, (Marca Hanna, modelo HI8424), previamente calibrado con soluciones buffers a pH entre 4,0 y 7,0.

Acidez: Una bureta de 50 mL fue usada con hidróxido de sodio 0,1 N. 10 g de hamburguesa fue tomada, se le adicionaron 200 mL de agua destilada y entonces se licuó por dos minutos en un procesador, (Marca Somela, modelo Easyline L-1900), 250 mL fueron filtrados y medidos, seguidamente, se tomó una alícuota de 25 mL y fueron colocados en un matraz Erlenmeyer con 250 mL de agua destilada, hasta realizar la titulación. El resultado fue expresado en porcentaje de ácido láctico.

Determinación de grasa (Soxhler): La grasa cruda fue determinada en un equipo Soxhler; para ello, la muestra fue secada a 103 °C, cinco (5) g fueron pesados y colocados en papel de filtro previamente pesados, y entonces el papel de filtro con la muestra fue colocado dentro del equipo giratorio Soxhler. Balones de 100 mL fueron secados y pesados para la subsecuente extracción de grasas con éter de petróleo y éter dietílico por cerca de seis (6) horas. Después de esto, el extracto final de grasa cruda fue secado y pesado. El resultado fue expresado como porcentaje de grasa

which cherry pulp was added, according to treatments T_1 , T_2 and T_3 . Samples were analyzed in the ANALAB Chile SA certified laboratory by the method of Petri plate count (ISO 156 16649, 2001).

Sensorial analysis

Assensorial analysis was determined by means of an assessment made by a panel of trained people who evaluated the addition of cherry pulp at three different levels, 8 %, 12 % and 15 % in treatments T_1 , T_2 and T_3 . A witness commercial hamburger was used with normal levels of fat and without the addition of cherry pulp. The assessment rating was first performed using unstructured primers, where the perception of sensorial attributes such as color, texture, aroma and taste were evaluated. At the same time, panelists assessed in a structured primer the levels of appearance and acceptability of the hamburgers made.

This assessment was made in the Catholic University of Maule, specifically in the laboratory of Nutritional Sciences, located in Carmen street, Curicó, coordinates 34° 58'59.51"S, 71° 14'20.58"O. People were asked to mark upright with a pencil on the space, the degree of perception of the attributes texture, aroma, taste and color from a low to a high intensity. As for acceptability, they were asked to give their opinion of what they liked or disliked in each sample, according to the assessment primer; in this case, they were requested to circle one score, on a scale from 1-9, where 1 corresponded to "I extremely dislike it" and 9 corresponded to "I extremely like it" (Adapted by Stone and Sidel 1993; Adapted by Witting, 1990).

cruda, por diferencia de masa. (AOAC, 1990).

Humedad: Esta fue medida en un horno de aire de acuerdo al método AOAC 950.46. Este método se basa en la determinación gravimétrica de la pérdida de masa de la muestra, hasta lograr una masa constante en un horno de aire a 103 °C (AOAC, 1990). Una capsula de Petri sin muestra fue secada por una hora a 103 °C en un horno, (Marca Binder, modelo FD-115), posteriormente, la capsula de Petri sin muestra fue enfriada por 30 minutos y fue medida su masa. Una vez que la capsula fue enfriada, una muestra homogénea de hamburguesa fue adicionada y de nuevo fue secada por cinco (5) horas a 103 °C en un horno, (Marca Binder, modelo FD-115). Después de cinco horas, fue permitido el secado por 35 minutos y fue medida su masa. La humedad fue expresada como porcentaje de humedad de la hamburguesa.

Análisis microbiológicos

Análisis de conteo fueron realizados en platos de Petri para evaluar la presencia de *E. coli* en las hamburguesas a las cuales fue adicionada pulpa de cerezas, de acuerdo a los tratamientos T_1 , T_2 y T_3 . Las muestras fueron analizadas en el laboratorio certificado ANALAB Chile SA, por el método de conteo en platos de Petri (ISO 156 16649, 2001).

Análisis sensorial

Un análisis sensorial fue determinado por medio de una valoración realizada por un panel de personas entrenado, quienes

Experimental design

The results of the various analysis performed on hamburgers were subjected to a parametric analysis, performing a Shapiro-wilk and Kolmogorow-Smirnov test. Levene's test was also carried out to assess the requirements of normality and variance of the data. The treatments were: T_0 : commercial hamburger (37 % fat), T_1 : hamburgers made with 63.4 % of pork and 8 % of cherry pulp, T_2 : hamburgers made with 59.4 % of pork and 12% of cherry pulp and T_3 : hamburgers made with 56.4 % of pork and 15 % of cherry pulp. For the comparison of the results of the physicochemical analysis and of the sensorial evaluation, a one-way analysis of variance (ANOVA) was performed, according to Tuckey test with 95 % of confidence, using SPSS (v.18.0 SPCS, 2009).

Results and discussion

Physico-chemical evaluations

pH

Measurements on samples showed significant differences among hamburgers in the four treatments in regards to pH values (Figure 1). The addition of cherry pulp in 8 %, 12 % and 15 % in T_1 , T_2 and T_3 produced a significant pH drop, as compared to control treatment T_0 . This decrease was likely due to the low pH level cherries have and that was ratified in the analysis carried out, obtaining an average pH = 3.82, similar to pH values of cherries registered by Ballistreri *et al.* (2012).

evaluaron la adición de pulpa de cerezas a tres niveles diferentes 8 %, 12 % y 15 % en los tratamientos T_1 , T_2 y T_3 . Como testigo fue usada una hamburguesa comercial con niveles normales de grasa y sin la adición de pulpa de cerezas. La valoración de las categorías fue en primer lugar desarrollada usando una planilla no estructurada, donde fueron evaluadas la percepción de atributos sensoriales como color, textura, aroma y gusto. Al mismo tiempo, los panelistas valoraron en una planilla estructurada, el nivel de apariencia y la aceptabilidad de las hamburguesas elaboradas.

Esta evaluación fue realizada en la Universidad Católica de Maule, específicamente en el laboratorio de Ciencias Nutricionales, localizada en la calle Carmen, Curicó coordenadas 34° 58' 59.51''S, 71° 14' 20.58''O. Se invitó a las personas a marcar responsablemente con un lápiz sobre el espacio, el grado de percepción de los atributos textura, aroma, sabor y color de menor a mayor intensidad. En cuanto a la aceptabilidad, ellos fueron invitados a dar su opinión de gusto o disgusto en cada muestra, de acuerdo a la planilla de evaluación; en este caso, la respuesta se marcó con un círculo, en una escala de 1-9, donde 1 corresponde a "Me disgusta extremadamente" y 9 corresponde a "Me gusta extremadamente" (Adaptado por Stone y Sidel 1993; Adaptado por Witting, 1990).

Diseño experimental

Los resultados de los diferentes análisis realizados a las hamburguesas fueron sometidos a

Similar studies in sausages demonstrated that by adding natural cherry pulp with low pH levels to meat products resulted in even lower level of pH in the final product (Deda *et al.*, 2007). Although panelists that

análisis paramétricos, llevados a cabo con la prueba de Shapirowilk y Kolmogorow-Smironov. La prueba de Levene's fue realizada para valorar los requerimientos de normalidad de la varianza de los

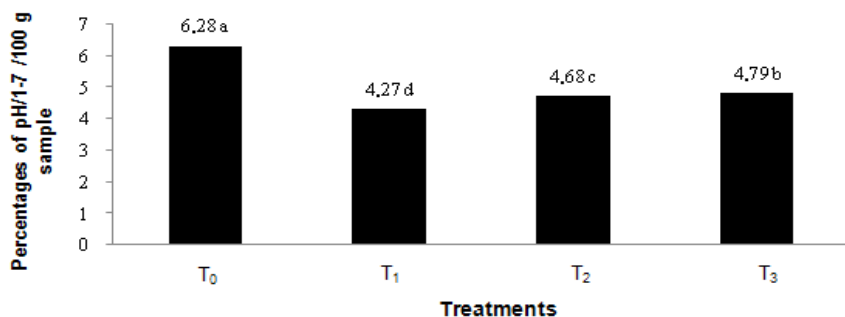


Figure 1. Average percentages of pH, present in the different hamburgers, expressed in a %.100 g⁻¹ sample. Source: Own made It.

Figura 1. Porcentajes promedio de pH, presentes en las diferentes hamburguesas, expresada en porcentaje.100 g⁻¹ de muestra. Fuente: Elaboración propia.

assessed hamburgers in this study showed differences in their answers, they were not significantly different. In addition, panelists perceived a sour taste due to the treatments applied to make hamburgers. The pH values of 6.28 can have an advantage on hamburgers because foods rich in protein, having a pH near neutral (pH = 7), together with high humidity percentages, would bring about the optimal conditions as a breeding ground for pathogen growth (Frazier, 1996). In contrast to what was stated by Frazier (1996), in the present study, no microbiological risk was found.

datos. Los tratamientos fueron: T₀: hamburguesa comercial (37 % de grasa), T₁: hamburguesa elaborada con 63,4 % de cerdo y 8 % de pulpa de cerezas, T₂: hamburguesa elaborada con 59,4 % de cerdo y 12 % de pulpa de cerezas y T₃: hamburguesa elaborada con 56,4 % de cerdo y 15 % de pulpa de cerezas. Para la comparación de los resultados de los análisis fisicoquímicos y la evaluación sensorial, se realizaron análisis de varianza (ANOVA) de una vía, de acuerdo a la prueba de Tuckey con 95 % de confianza, usando SPSS (v.18.0 SPCS, 2009).

Lactic acid

Comparatively, the percentage of lactic acid increased as compared to the control treatment of hamburgers T_0 , from 0.04 to 0.14 in hamburgers made in treatments T_1 , 0.13 in T_2 and 0.11 in treatment T_3 (Figure 2).

According to Coma and Piquer

Resultados y discusión

Evaluación fisicoquímica

pH

En cuanto a los valores de pH, las mediciones en las muestras mostraron diferencias significativas entre las hamburguesas en los

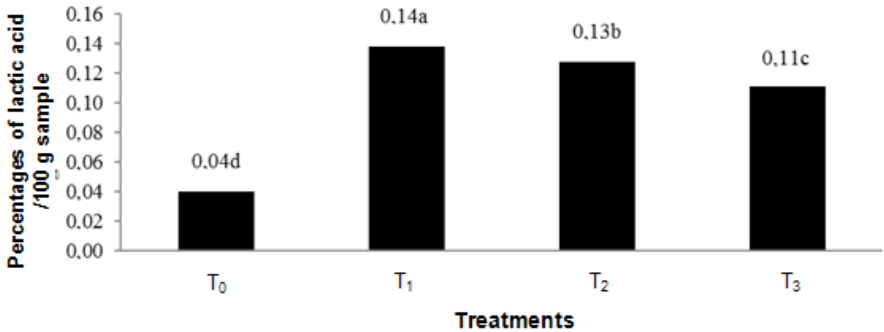


Figure 2. Average percentages of lactic acid, present in different hamburgers, expressed in a %/100 g^{-1} sample. Source: Own made It.

Figura 2. Porcentajes promedio de ácido láctico, presente en las diferentes hamburguesas, expresado en porcentaje/100 g^{-1} de muestra. Fuente: Elaboración propia.

(1999) the high values of lactic acid, 0.14 in T_1 , 0.13 in T_2 and 0.11 in T_3 that hamburgers with the addition of cherry pulp showed in the three treatments, in regards to 0.04 in T_0 without cherry pulp, would have to do with the phenomenon of glycolysis in muscle, not measured in this study; a phenomenon that consists on the transformation of glycogen into lactic acid. There is also a factor which is important in the increase of lactic acid in hamburgers, according to Deda *et al.* (2007), it is related to the time in which the sausages and hamburgers made are stored, which would increase

cuatro tratamientos (Figura 1). La adición de pulpa de cerezas en 8 %, 12 % y 15 % en T_1 , T_2 y T_3 , produce una significativa disminución del pH, comparado con el tratamiento control T_0 . Esta disminución fue ligera debido a los bajos niveles de pH que tienen las cerezas y que fue ratificado en el análisis realizado, obteniéndose un promedio de pH de 3,82. Similares valores de pH en cerezas fue registrado por Ballistreri *et al.* (2012).

Estudios similares en salchicha, demostraron que la adición de pulpa natural de cerezas con niveles bajos

the elaboration of lactic acid and of other organic acids, through glycolysis in fresh tissues.

Fat

Fats are important in meat products such as hamburgers, they provide emulsion, juiciness and helps water retention and are important sources of energy (Jiménez *et al.*, 2001; Chin *et al.*, 2004). However, the consumption of foods with high percentages of fat is primarily responsible for heart and vascular diseases, obesity and hypertension, among others (Vural *et al.*, 2004). This is the reason for the addition of cherry pulp to hamburgers, aimed at generating a healthy and balanced food. The values showed in Figure 3 show the difference in the percentage of fat in each treatment.

To highlight the high content of fat commercial hamburgers have, represented by T_0 , the differences in the content of fat in the hamburgers made in T_1 , T_2 and T_3 were established, compared to treatment T_0 (with 37,06 %), showing the following differences, 30.5 %, 33.4 % and 34.4 % in each case. It was observed that the average percentage of fat significantly decreased as percentages of cherry pulp and soy protein increased in each treatment; this agrees with what Izasa *et al.* (2012) and Cañas *et al.* (2011) describe, that is, the addition of the extract of cherry would decrease the content of fat in hamburgers and sausages, reducing lipid oxidation and not affecting their organoleptic properties.

de pH a los productos cárnicos, resulta incluso en niveles bajos de pH en el producto final (Deda *et al.*, 2007). Aunque en este estudio, los panelistas que valoraron las hamburguesas mostraron diferencias en sus respuestas, ellas no fueron significativamente diferentes. Adicionalmente, los panelistas percibieron un sabor ácido debido a los tratamientos aplicados a las hamburguesas preparadas. El valor de pH de 6,28 puede tener una ventaja en las hamburguesas debido a que es un alimento rico en proteínas, teniendo un pH cercano a neutro ($\text{pH} = 7$), junto con altos porcentajes de humedad, pudiera crearse un área con condiciones óptimas para el crecimiento de patógenos (Frazier, 1996). A diferencia de lo indicado por Frazier (1996), en el presente estudio, no se encontraron riesgos microbiológicos.

Ácido láctico

El porcentaje de ácido láctico se incrementó relativamente en comparación al tratamiento control de hamburguesas T_0 , de 0,04 a 0,14, en las hamburguesas preparadas en los tratamientos T_1 , 0,13 en T_2 y 0,11 en el tratamiento T_3 (Figura 2).

Según Coma y Piquer (1999), los altos valores de ácido láctico, 0,14 en T_1 , 0,13 en T_2 y 0,11 en T_3 , que muestran las hamburguesas con la adición de pulpa de cerezas en los tres tratamientos, con respecto a 0,004 en T_0 sin pulpa de cerezas, puede ser debido al fenómeno de glicólisis en el músculo, no medido en este estudio; un fenómeno que consiste en la transformación de glicógeno en ácido láctico. En este sentido, un factor importante en el incremento

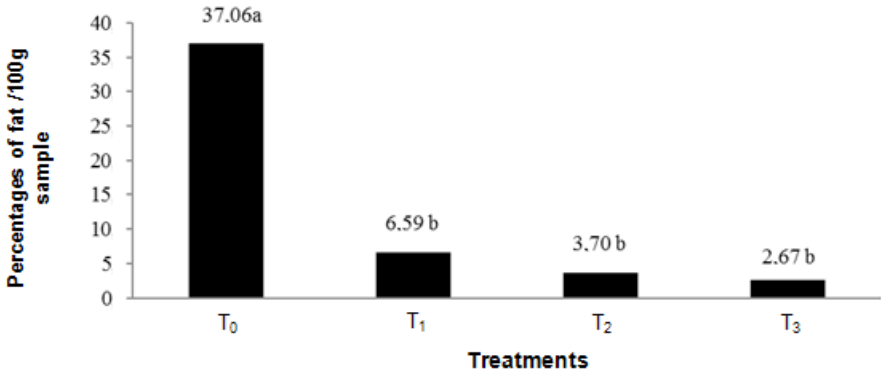


Figure 3. Average percentages of fat present in the hamburgers, expressed in a $\%.100 \text{ g}^{-1}$ sample. Source: Own made It.

Figura 3. Porcentajes promedio de grasa presente en las hamburguesas, expresado en porcentaje.100 g^{-1} de muestra. Fuente: Elaboración propia.

According to what Morrisey *et al.* (1998) said, the addition of cherry pulp decreased the amount of fat in hamburgers and improved its sensorial evaluation; it will be described below. These authors indicate that fat is mainly responsible for negative changes in organoleptic properties such as color, smell and texture.

Humidity

The results of the analysis of the samples of hamburgers with cherry pulp added showed considerable moisture values in the four treatments, but there was no significant difference among them, though hamburgers made in treatments T₁ and T₂ showed a trend to a higher content of moisture (data not shown).

The hamburgers obtained in the four treatments showed similar percentages of moisture, with an

del ácido láctico en hamburguesas, de acuerdo a Deda *et al.* (2007), es lo relacionado al tiempo en el cual las salchichas y las hamburguesas preparadas son almacenadas, lo cual puede incrementar la producción de ácido láctico y otros ácidos orgánicos, a través de la glicólisis en el tejido fresco.

Grasa

Las grasas son importantes en productos cárnicos, como las hamburguesas, ellas proporcionan emulsión, jugos, ayudan en la retención de agua y son importantes fuentes de energía (Jiménez *et al.*, 2001; Chin *et al.*, 2004). Sin embargo, el consumo de alimentos con altos porcentajes de grasa, es el principal responsable de enfermedades del corazón y vasculares, obesidad e hipertensión, entre otras (Vural *et al.*, 2004). Esta es la razón para la adición de pulpa

average of 54.5 %, those made in T_0 and T_3 showed the lowest percentages of moisture, 50.40% and 54.37 % in each case, which meant that there was a lower risk of microbiological pollution (García *et al.*, 2006). This was corroborated by a microbiological analysis that will be described below. According to Piñero *et al.* (2008), in several studies with hamburgers made with low contents of fat, the importance of the amount of moisture was assessed because moisture positively affects the organoleptic properties of texture should increase, so that it increases the consumers' level of acceptability.

Sensorial evaluation

Acceptability

The sensorial evaluation of the acceptability of hamburgers did not show any significant difference, independently of the treatment applied (data not shown). Panelists had the same level of acceptance of the products made with the addition of cherry pulp T_1 , T_2 and T_3 , in regards to the product made without cherry pulp T_0 .

It could not be verified in this research what Piñero *et al.* (2008) pointed out and that was previously discussed here in regards to the content of moisture of hamburgers. These results are related to the measured percentage of humidity previously expressed. Panelists agreed with an evaluation of 6.4 to hamburgers in treatment T_2 , meaning "I like it somehow".

Hamburgers in treatment T_1 were evaluated with 6.0, corresponding to "I like it somehow". Hamburgers in treatment T_3 were evaluated with 5.5,

de cerezas a las hamburguesas, con el objetivo de generar un alimento saludable y balanceado. Los valores presentados en la Figura 3, muestran la diferencia en el porcentaje de grasa en cada tratamiento.

Para resaltar el alto contenido de grasa que tienen las hamburguesas comerciales, representadas por T_0 , las diferencias en el contenido de grasa en las hamburguesas preparadas en T_1 , T_2 y T_3 fueron establecidas comparando con el tratamiento T_0 (con 37,06 %), muestran las diferencias siguientes: 30,5 %, 33,4 % y 34,4 %, en cada caso. Se observó que el porcentaje promedio de grasa disminuye significativamente en cada tratamiento, al mismo tiempo que incrementa el porcentaje de pulpa de cerezas y la proteína de soya; esto coincide con Izasa *et al.* (2012) y Cañas *et al.* (2011), quienes describen que la adición de extractos de cerezas puede disminuir el contenido de grasa en hamburguesas y salchichas, reduciendo la oxidación de lípidos y no afectando las propiedades organolépticas.

De acuerdo a lo indicado por Morrissey *et al.* (1998), la adición de pulpa de cerezas disminuye la cantidad de grasas en las hamburguesas y mejora la evaluación sensorial; esto está descrito más adelante. Estos autores indican que la grasa es el responsable principal de los cambios negativos en las propiedades organolépticas, como el color, olor y textura.

Humedad

Los resultados de los análisis de las muestras de hamburguesas con la adición de pulpa de cerezas muestran valores considerables de humedad

corresponding to “I like it somehow” and those hamburgers from treatment T₀ were evaluated as “I like it somehow” with 5.6. Despite the minor differences shown in the acceptance of the assessed hamburgers, the results offered by the panelists are not significant.

Organoleptic attributes

A summary of the sensorial attributes measured on hamburgers subjected to the four treatments is shown in the Table 1.

para los cuatro tratamientos, pero no tienen diferencias significativas entre ellos, a pesar de que las hamburguesas elaboradas en los tratamientos T₁ y T₂ muestran una tendencia a un alto contenido de humedad (datos no mostrados).

Las hamburguesas obtenidas en los cuatro tratamientos muestran porcentajes de humedad similares, con un promedio de 54,5 %, aquellas elaboradas en T₀ y T₃ muestran

Table 1. Average values of organoleptic attributes assessed on hamburgers with cherry pulp.

Cuadro 1. Valores promedio de los atributos organolépticos evaluados en hamburguesas con pulpa de cerezas.

Treatments	Aroma	Color	Flavor	Texture
T ₀	7,7	1,4 b	5,0	4,1 b
T ₁	7,0	7,6 a	4,6	6,4a
T ₂	8,0	8,7 a	6,4	6,9a
T ₃	8,3	8,7 a	6,1	5,5ab

*The averages that are within the same column and have different letters might show statistically significant differences, according to the Tukey test (p<= 0.05). Source: Self made.

*Los promedios que están dentro de la misma columna y tienen letras diferentes muestran diferencias estadísticamente significativas, de acuerdo a la prueba de Tukey (p<= 0,05). Fuente: Elaboraion propia.

Aroma

The results of the attribute aroma in the hamburgers in the four treatments expressed in (Table 1) did not show any significant difference among them (p= 0.467). Panelists generally rated hamburgers with a trend towards a product with a “nice aroma”, according to an unstructured primer used (Stone *et al.*, 1993). For

menores porcentajes de humedad 50,40 % y 54,37 % en cada caso, lo cual significaba que había un menor riesgo de contaminación microbiológica (García *et al.*, 2006). Esto fue corroborado por un análisis microbiológico que está descrito mas adelante. De acuerdo con Piñero *et al.* (2008), en varios estudios con hamburguesas elaboradas con bajo

panelists, hamburgers with cherry pulp added did not show major differences in the attribute aroma, making evident that panelists did not perceive any unusual scent in regards to the hamburgers in the control treatment T_0 . However, panelists rated hamburgers with a pleasant smell, which is a positive aspect. According to Sapiña (2013), despite of the amount of volatile aromatic components present in *Prunus avium*, such as alcohol and benzaldehyde, they must be in a very high concentration to be perceived. In the present study, although the aroma of the fruit was not measured, they had the same physiological maturity, measured soluble solids (16.2 °Brix), thus it was assumed that they had the same aroma intensity.

In the attribute color, statistically significant differences in hamburgers with different treatments ($p= 0.010$) were observed. In hamburgers made in treatment T_0 , the panelists' perception and assessment was that they had a light brown color, unlike those in T_1 , T_2 and T_3 , which were perceived with a dark brown color. As shown in (Table 1), hamburgers in treatments that included a higher percentage of cherry pulp were those that showed a higher tendency to dark brown, probably due to the natural process of oxidation of the fruit (*Prunus avium*). According to FAO (2001), meat consumption is not recommended in colors close to white. Thus, light brown in T_0 308 and dark brown in T_1 , T_2 and T_3 is a positive aspect.

Flavor

Judges' perception of the attribute flavor did not show significant

contenido de grasa, la importancia de la cantidad de humedad fue evaluada, debido a que la humedad afecta positivamente las propiedades organolépticas de la textura, debe aumentar, de modo que aumenta el nivel de aceptabilidad de los consumidores.

Evaluación sensorial Aceptabilidad

La evaluación sensorial de la aceptabilidad de las hamburguesas, no mostraron diferencias significativas, independientemente de los tratamientos aplicados (datos no mostrados). Los panelistas tienen el mismo nivel de aceptación de los productos elaborados con la adición de pulpa de cerezas T_1 , T_2 y T_3 , en comparación con los productos elaborados sin pulpa de cerezas T_0 .

No se pudo verificar en esta investigación lo señalado por Piñero *et al.* (2008) y que fue dicutado anteriormente, en lo que respecta al contenido de humedad de las hamburguesas. Estos resultados están relacionados con la medición del porcentaje de humedad expresado previamente. Los panelistas coincidieron con una evaluación de 6,4 para las hamburguesas del tratamiento T_2 , significando "me gusta de alguna manera".

Las hamburguesas del tratamiento T_1 fueron evaluadas con 6,0, correspondiendo a "me gusta de alguna manera". Las hamburguesas del tratamiento T_3 fueron evaluadas con 5,5, correspondiendo a "me gusta de alguna manera" y las hamburguesas del tratamiento T_0 fueron evaluadas con 5,6, correspondiendo a "me gusta

differences among the hamburgers subjected to the four treatments ($p=0.125$), being the average of the values of the marks between 4.6 to 6.4, which meant that panelists perceived a homogeneous flavor, rather “salty”. Those hamburgers in treatments T_0 and T_1 were perceived with a slight tendency towards the “salty” taste by panelists. Although there was no statistically significant difference, those hamburgers in T_2 and T_3 were perceived by panelists with a slight trend towards a “sweet” taste. The slight sweetness that hamburgers had in treatments T_2 and T_3 could be due to the amount of soluble solids cherry pulps had, according to the analysis made in the laboratory of Sciences from the Catholic University of Maule and showed average values of 16.2 °Brix, which is associated with ranges of cherries in optimal cropping.

Texture

Panelists perceived a “loose” texture on hamburgers in treatment T_0 and in a less extend those in treatment T_3 , while those made in treatments T_1 and T_2 were perceived as “crispy”.

According to Grigelmo *et al.* (1997), meat products with high percentages of natural extracts and less fat, such as hamburgers in treatments T_1 and T_2 tend to take a harder or “crunchy” texture. The texture of a food is described as the sensation its structure produces and the arrangement of its components (Vincent and Elices, 2003). Hamburgers made in treatment T_0 that had the highest content of fat and the hamburgers made in treatment T_3 that had the highest percentage

de alguna manera”. A pesar de las mínimas diferencias mostradas en la aceptación de las hamburguesas valoradas, los resultados aportados por los panelistas no son significativos.

Atributos organolépticos

En el cuadro 1 se muestra un resumen de los atributos sensoriales medidos en las hamburguesas sometidas a los cuatro tratamientos.

Aroma

Los resultados del atributo aroma en las hamburguesas en los cuatro tratamientos mostrados en el cuadro 1, no mostraron diferencias significativas entre ellos ($p=0,467$). En general los panelistas valoraron las hamburguesas con una tendencia en relación con un producto con un “aroma agradable”, de acuerdo a la planilla de evaluación no estructurada usada (Stone *et al.*, 1993). Para los panelistas, las hamburguesas con pulpa de cerezas adicionadas no muestran mayores diferencias en el atributo aroma, haciendo evidente que los panelistas no perciben ningún rastro inusual en comparación con la hamburguesa del tratamiento control T_0 . Sin embargo, los panelistas valoraron las hamburguesas con un olor agradable, lo cual es un aspecto positivo. De acuerdo a Sapiña (2013), a pesar de la cantidad de componentes aromáticos volátiles presentes en *Prunus avium*, L. tales como alcoholes y benzaldehidos, ellos deben estar en una muy alta concentración para ser percibidos. En el presente estudio, aunque el aroma del fruto no fue medido, tenían la misma madurez fisiológica, indicado por la medida de los sólidos solubles (16,2 °Brix), así

of pulp (Table 1) were perceived by panelists with a rather loose texture, it is explained by the lower fat content and the decreasing percentage of meat present in the components, since the characteristic texture of meat is due to the fibrous structure of muscle tissue and to the way in which fibers are separated when chewed (Vincent and Elices, 2003).

Microbiological analysis

The microbiological test was conducted to determine the presence of *E. coli* in the three treatments of hamburgers with cherry pulp T_1 , T_2 and T_3 . The hamburgers made in the three treatments T_1 , T_2 and T_3 resulted in "it does not show anything", meaning that the unit colony forming per gram (CFU. g^{-1}) was less than 10 (Ministerio de Salud, 2013), thus hamburgers are suitable for consumption because its permitted levels for consumption are 50 CFU. g^{-1} - 500 CFU. g^{-1} (Ministerio de Salud, 2013).

Conclusions

The hypothesis of this study was not completely fulfilled because the addition of cherry pulp to make hamburgers effectively reduced the fat content, but the sensorial chemical aspects, acceptability and innocuousness did not show any improvement as compared to the control treatment.

Fat parameters, pH and acidity of the hamburgers made with cherry pulp added showed significant differences.

The sensorial attributes aroma and flavor did not show significant differences among treatments.

que fue asumido que ellos tenían la misma intensidad en el aroma.

Color

En el atributo color, se observaron diferencias estadísticas ($p = 0,010$) en las hamburguesas con los diferentes tratamientos. En las hamburguesas elaboradas en el tratamiento T_0 , la percepción y valoración de los panelistas fue que ellas tenían un color marrón ligero, no gustándoles eso, en T_1 , T_2 y T_3 , percibieron un color marrón oscuro. Como se muestra en el cuadro 1, las hamburguesas en los tratamientos que incluyen un alto porcentaje de pulpa de cerezas, muestran una tendencia alta a marrón oscuro, debido probablemente a los procesos de oxidación natural del fruto (*Prunus avium* L.). De acuerdo a la FAO (2001), no es recomendable el consumo de carne con colores cercanos al blanco, así, un marrón ligero en T_0 y un marrón oscuro en T_1 , T_2 y T_3 es un aspecto positivo.

Sabor

La estimación de la percepción del atributo sabor no mostró diferencias significativas en las hamburguesas sometidas a los cuatro tratamientos ($p= 0,125$), siendo el promedio de los valores marcados entre 4,6 y 6,4, en el cual las medias de los panelistas percibieron un sabor homogéneo ligeramente "salado". Los panelistas percibieron a las hamburguesas de los tratamientos T_0 y T_1 con una delicada tendencia hacia el gusto "salado". Aunque no se detectaron diferencias estadísticamente diferentes, las hamburguesas elaboradas en T_2 y T_3 fueron percibidas por los panelistas con una ligera tendencia hacia el gusto "dulce".

There were no significant differences in the perception of color since panelists perceived as “dark” to lighter brown color.

There were significant differences regarding the attribute texture and panelists perceived as “more or less crunchy”.

The hamburgers made in different treatments T_0 , T_1 , T_2 and T_3 were equally accepted by the panelists, not being shown significant differences, being expressed as “I almost like it.”

Hamburgers made with cherry pulp did not show the presence of *E. coli* in any treatment.

End of English Version

El ligero endulzamiento que tienen las hamburguesas en los tratamientos T_2 y T_3 puede ser debida a la cantidad de sólidos solubles que tiene la pulpa de cerezas, de acuerdo al análisis realizado en el laboratorio de Ciencias de la Universidad Católica de Maule y muestra valores promedios de 16,2 °Brix, lo cual está asociado con el rango óptimo de cosecha de las cerezas.

Textura

Los panelistas perciben una “perdida” de textura de las hamburguesas en el tratamiento T_0 y la perdida se extiende al tratamiento T_3 , mientras que las elaboradas en los tratamientos T_1 y T_2 fueron percibidas como “crujientes”.

Según Grigelmo *et al.* (1997), los productos de carne con altos porcentajes de extractos naturales, menos grasa, como las hamburguesas en los tratamientos T_1 y T_2 tienden

a tomar una textura “crujiente” o a endurecerse.

La textura de un alimento se describe como la sensación que produce la estructura y la disposición de sus componentes (Vincent y Elices, 2003). Las hamburguesas elaboradas en el tratamiento T_0 que tienen un alto contenido de grasa y las hamburguesas elaboradas en el tratamiento T_3 que tienen un alto porcentaje de pulpa (cuadro 1), fueron percibidas por los panelistas con una ligera perdida de textura, esto es explicado por el bajo contenido de grasa y la disminución del porcentaje de carne presente en los componentes, ya que las características de textura de la carne es debida a la estructura fibrosa del tejido muscular y a la manera en la cual las fibras son separadas cuando se mastican (Vincent y Elices, 2003).

Análisis microbiológicos

Los ensayos microbiológicos fueron realizados para determinar la presencia de *E. coli* en los tres tratamientos de hamburguesas con pulpas de cerezas T_1 , T_2 y T_3 . Las hamburguesas preparadas en los tres tratamientos T_1 , T_2 y T_3 , resultando en “no se vé nada”, indicando que las unidades de colonias formadas por gramo (CFU. g^{-1}) fue menor que 10 (Ministerio de Salud, 2013), así que las hamburguesas preparadas son adecuadas para consumo, ya que los niveles permitidos para consumo son 50 CFU. g^{-1} 500 CFU. g^{-1} (Ministerio de Salud, 2013).

Conclusiones

La hipótesis de este estudio no se cumplió completamente, debido

a que la adición de pulpa de cerezas en las hamburguesas preparadas, efectivamente reduce el contenido de grasas, pero no mostró una mejora en los aspectos químicos, sensoriales, aceptabilidad e inocuidad en comparación con el tratamiento control.

Los parámetros grasas, pH y acidez de las hamburguesas preparadas con la adición de pulpa de cerezas, mostraron diferencias significativas.

Los atributos sensoriales aroma y sabor no mostraron diferencias significativas entre los tratamientos.

No se encontraron diferencias significativas en la percepción del color, puesto que los panelistas perciben como “oscuro” hasta ligero color marrón.

No se encontraron diferencias significativas en el atributo textura y los panelistas percibieron como “más o menos crujiente”.

Las hamburguesas preparadas con diferentes tratamientos T_0 , T_1 , T_2 y T_3 fueron igualmente aceptadas por los panelistas, pero no mostraron diferencias significativas, siendo expresado como “casi me gusta”.

Las hamburguesas preparadas con pulpa de cereza no mostraron presencia de *E. coli* en ninguno de los tratamientos.

Literatura citada

Acuña, C. 2012. Desarrollo de “cherryburguers” hamburguesas de cerezas y carne vacuna con reducidos niveles de colesterol y materia grasa elaboradas a partir de materia prima de bajo costo orientado a mercados de exportación. En: Informe visita ejecutivo de CORFO a planta

Chilcherry. 13 de abril. Curicó. Chilberry. p. 1-72.

Ballistreri, G., A. Continella, A. Gentile, M. Amenta, S. Fabroni, and P. Rapisarda. 2012. Fruit quality and bioactive compounds relevant to human health of sweet cherry (*Prunus avium* L.) cultivars grown in Italy. Food Chem 140: 630-638.

Cañas, Z., D.A. Restrepo and M. Rodriguez. 2011. Productos vegetales como fuente de fibra dietaria en la industria de alimentos. Facultad Nacional Agrarian Medellín 64:6023-6035. Carrapiso, A.I. 2007. Effect of fat content on flavour release from sausages. Food chem 103:396-403. DOI:10.1016/j.foodchem.2006.07.037

Chin, K.B., H.L. Lee, S.H. Kook, and S.S. Yoo. 2004. Evaluation of various combinations of pork lean and water added on the physicochemical, textural and sensory characteristics of low fat sausages. Food science and biotechnology 13: 480-486.

Coma, J. and J. Piquer. 1999. Calidad de la carne en porcino: Efecto de la nutrición. Avances en nutrición y alimentación animal. 1-19.

Deda, M.S., J.G. Bloukas, and G.A. Fista. 2007. Effect of tomato paste and nitrite level on progressing and quality characteristics of frankfurters. Meat Science 76: 501-508.

Frazier, W.C. 1996. Microbiología de los alimentos. Editorial Acribia, S.A. España. Zaragoza. 3:38-70.

García, A., P. Izquierdo, S. Uzcategui, J.F. Faria, and M. Allara, M. 2006. Formulación de salchichas con atún y carne: vida útil y aceptabilidad. FCV-LUZ. XV 3: 272-278.

Grigelmo, M.N., M.J. Motilva, and O. Martin. 1997. Characterization of low-fat Frankfurtes using peach dietary fiber as an ingredient. “Resumen”. Book of abstralts, Institute of Food Technologi.sts Annual Meeting 23:15.

Jiménez, F., J. Carballo, y S. Cofrades. 2001. Heathier meat and meat products:


- The role as functional foods. *Meat science* 59: 5-28.
- Ministerio de Salud. 2013. Dto N 977/96: Reglamento sanitario de los alimentos. Chile, Abril de 2013. 543 p.
- Morrissey, P.A., P.J. Sheehy, K. Galvin, J.P. Kerry, and D.J. Buckley. 1998. Lipid stability in meat and meat product. *Meat science* 49: 73-86.
- Muñoz, M, and S. Rodriguez. 2013. Manual cosecha de carozos. En: Reunión anual de personal. 4 de marzo. Rapel de Chile. Oficina Central planta Verfrut. p. 21-24.
- Official Methods of Analysis of AOAC International. 1990. Official method of Analysis, fat and crude fiber. Association of Official Analytical Chemists, 15 edition, Arlington, USA. 780 p.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, FAO - Comisión del Codex Alimentarius. 2001. Programa conjunto FAO/OMS sobre normas alimentarias. 2 y 7 junio. Ginebra Suiza. Organización mundial de la Salud. 1-301.
- Organización Internacional de Normalización, ISO. 2001. ISO 16649-2:2001 Microbiology of food and animal feeding stuffs. Horizontal method for the enumeration of beta-glucuronidase – positive *Escherichia coli*. Part 2: Colony count technique at 44 degrees C using 5 bromo 4 chloro 3 indolylbeta D glucuronide. Available in: <https://landingpage.bsigroup.com/LandingPage/Standard?UPI=00000000030000812>. Consulting date: abril 2004.
- Piñero, M.P., M.A. Ferrer, L. Arena de Moreno, N. Huerta-Leidenz, K. Parra, and Y.M. Barboza. 2008. Effect of oat's soluble fibre (β -glucan) as a fat replacer on physical, chemical, microbiological and sensory properties of low-fat beef patties. *Revista Meat Science* 80:675-680.
- Restrepo, D.A. 2008. Reporte proyecto de investigación. Los productos cárnicos como alimentos funcionales. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.
- Santibáñez, F. and J.M. Uribe. 1993. Atlas agroclimático de Chile. Regiones IV, VII, VIII y IX. Santiago de Chile. Ministerio de agricultura, fondo de investigación agropecuaria. Blanco y negro. 13 p.
- Sapiña, F. 2013. Cuando es tiempo de cereza: la ciencia de la meza. *Metode revista de difusión de la investigación de la Universidad de Valencia* 79: 110-111.
- Stone, H. and J.L. Seidel. 1993. Sensory evaluation practices. Second Edition, Academic press. N 420 y C. 53 p.
- Vernam, A.H., and J.P. Sutherland 1998. Carne y productos cárnicos. Tecnología química microbiológica. Acribia, S.A. 2-13.
- Vincent, J.F. and M. Elices. 2003. La textura de los alimentos: un complemento al sabor. *Metode Revista de difusión de la investigación de la Universidad de Valencia* 40: 112.
- Vural, H.M., I. Javidipour, and O. Ozbas. 2004. Effects of interesterified vegetable oils and sugar beet fibre on the quality of frankfurters. *Meat science* 67: 65-82.
- Witting, E. 1990. Metodología de evaluación sensorial. Facultad de ciencias químicas y farmacéuticas. Universidad de Chile. 302 p.

Agricultural supports and farmers' satisfaction: A latent variable application in Turkey

Apoys agrícolas y satisfacción del agricultor: una aplicación de variable latente en Turquía

Apoios agrícolas e satisfação dos agricultores: uma aplicação variável latente na Turquia

Bekir Demirtas

Department of Agricultural Economics, Faculty of Agriculture, Mustafa Kemal University, Hatay, Turkey. E-mail: bdemirtas@mku.edu.tr, .

Abstract

Agricultural supports are given with different quantities and purposes around the world, such as exemption from tax, granting subsidies or agricultural insurances, among others. These supports have a great impact but its benefits to farmers are not generally known. The influence of these supports on farmers is pointed out by evaluating the farmers' satisfaction. In this sense, it was obtained a data from 426 producers in order to analyze the agricultural supports regarding farmer's satisfaction. The first and second-order latent variables are analyzed by applying the Confirmatory Factor Analysis (CFA) to the survey data obtained for the evaluation of farmers' satisfaction. The factor loadings and fit index were sufficient and the structure validity and reliability of the model were ensured. The most effective variables influencing the farmers' satisfaction related to the agricultural supports are the supports maintaining the financial structure and livestock support. Results indicate that farmers need to be supported more in terms of input use and crop production.

Key words: Agricultural subsidy, agricultural policy, farmer's satisfaction, CFA, Turkey.

Resumen

Los apoyos agrícolas se otorgan con diferentes cantidades y propósitos en todo el mundo tales como la exención de impuestos, el otorgamiento de subsidios o de seguros agrícolas, entre otros. Sin embargo, generalmente no se conoce cuál

Recibido el 20-03-2020 • Aceptado el 01-07-2020.

*Autor de correspondencia. Correo electrónico: bdemirtas@mku.edu.tr

de los apoyos tiene un mayor impacto y es bien recibido por los agricultores. La influencia del soporte agrícola sobre los agricultores se refleja en la evaluación de la satisfacción del agricultor, la cual se analizó mediante un análisis factorial utilizando variables latentes de primer y segundo orden en una muestra de 426 agricultores. El índice de carga y ajuste del factor fue suficiente para garantizar la validez de la estructura y la confiabilidad del modelo. Las variables más efectivas que influyen en la satisfacción del agricultor en relación con el soporte agrícola son aquellos que ayudan a la estructura financiera y al apoyo ganadero. Los resultados indicaron que los agricultores necesitan soporte agrícola en términos de uso de insumos y de la producción de cultivos.

Palabras clave: subsidio agrícola, política agrícola, satisfacción de los agricultores, CFA, Turquía.

Resumo

Os apoios agrícolas são concedidos para diferentes valores e finalidades em todo o mundo, como isenção de impostos, concessão de subsídios ou seguro agrícola, entre outros. Contudo, geralmente não se sabe qual dos apoios tem maior impacto e é bem recebido pelos agricultores. A influência do apoio agrícola sobre os agricultores se reflete na avaliação da satisfação dos agricultores, que foi analisada por meio de uma análise fatorial usando variáveis latentes de primeira e segunda ordem em uma amostra de 426 agricultores. O índice de carga e ajuste do fator foi suficiente para garantir a validade da estrutura e a confiabilidade do modelo. As variáveis mais eficazes que influenciam a satisfação do agricultor em relação ao apoio agrícola são aquelas que ajudam a estrutura financeira e o apoio à pecuária. Os resultados indicaram que os agricultores precisam de apoio agrícola em termos de uso de insumos e produção agrícola.

Palavras-chave: subsídio agrícola, política agrícola, satisfação do agricultor, CFA, Turquia.

Introduction

The agricultural production is subject to risk and uncertainty by its very nature. Accordingly, the technical and financial risks are intensely experienced in the sector. The low flexibility of supply and demand for agricultural products, longer production period compared to the nonagricultural products, low capital turnover ratio and

Introducción

Debido a su propia naturaleza, la producción agrícola está sujeta a riesgos e incertidumbre, en consecuencia, los riesgos técnicos y financieros se experimentan intensamente en este sector. La baja flexibilidad de la oferta y la demanda de productos agrícolas, el período de producción más largo en comparación con los productos no agrícolas, el bajo

scattered agricultural markets make it compulsory for the agricultural enterprises to be supported for agricultural production. Therefore, the agriculture business is supported within production-consumption chain in all developed, developing and underdeveloped countries with different scales (Norton, 2004; Tang *et al.*, 2017, Bradley *et al.*, 2018). Such issues like keeping the agricultural income in sufficient levels with agricultural policies, balancing of agricultural population, ensuring the demand for agricultural products, controlling the prices of products, balancing supply and demand, and marketing should be taken into consideration. The income differences between the agriculture business and other businesses can be compensated with some social and financial measures (exemption from tax, granting subsidies, compensating the damages with agricultural insurances) (Sibande *et al.*, 2017; Moon and Pino, 2018). The development of competitive and efficient agricultural structures and ensuring fair living standards for farmers have been the key purposes of agricultural policies (Minviel and Witte, 2017).

The problems related to agricultural food chain, rural development, environment, animal welfare and ethics have currently been the issues worrying the policy makers. The uncertainty on the production of some agricultural products, difficulties caused mostly by the nature and human-based discontinuities in food import supply have been the impulsive forces for

índice de rotación de capital y los mercados agrícolas dispersos, obligan a las empresas agrícolas a recibir apoyo para la producción. Por lo tanto, el negocio agrícola está respaldado con diferentes escalas dentro de la cadena de producción-consumo en todos los países desarrollados, en desarrollo y subdesarrollados (Norton, 2004; Tang *et al.*, 2017, Bradley *et al.*, 2018). Tales cuestiones como mantener los ingresos agrícolas en niveles suficientes con las políticas agrícolas, equilibrar la población agrícola, garantizar la demanda de productos agrícolas, controlar los precios de los productos, equilibrar la oferta y la demanda y la comercialización, deben tenerse en cuenta. Las diferencias de ingresos entre el negocio agrícola y otros negocios se pueden compensar con algunas medidas sociales y financieras (la exención de impuestos, la concesión de subsidios, la compensación de daños con seguros agrícolas) (Sibande *et al.*, 2017; Moon y Pino, 2018). Los propósitos clave de las políticas agrícolas han sido el desarrollo de estructuras agrícolas competitivas y eficientes, así como garantizar niveles de vida justos para los agricultores (Minviel y Witte, 2017).

Los problemas relacionados con la cadena alimentaria agrícola, el desarrollo rural, el medio ambiente, el bienestar de los animales y la ética han sido temas que preocupan a los responsables políticos. La incertidumbre sobre la producción de algunos productos agrícolas, las dificultades causadas principalmente por la naturaleza y las discontinuidades basadas en el hombre relacionadas

the policies to protect the agriculture (Femenia *et al.*, 2010; Chen *et al.*, 2017; Milczarek-Andrzejewska *et al.*, 2018).

The influence of subsidies over the agricultural production has been an important subject for the agricultural economy. The quantity of additional income that farmers can use from the payments depends on many factors such as market conditions (Weber and Key, 2011; Tian *et al.*, 2016, Lopez *et al.*, 2017). One of the leading goals of European Union Common Agricultural Policy (CAP) is to increase the agricultural productivity through subsidies. EU has provided a considerable contribution by maintaining onsite sustainable agriculture and subsidies to farmers for the adaptation to the market conditions. The direct payments have constituted 27 % of agricultural income for EU farms and they have constituted over 50 % of agricultural income for some farm types (Severini and Tantari, 2015; Reidsma *et al.*, 2018).

The support policies for agriculture have been implemented by initially determining the base price and conducting support purchases in Turkey. In the following years, the support policies have been diversified and such policies have been implemented as decoupled direct payment, deficiency payment or premium payment, livestock support, input support, subsidized agricultural credit support and compensatory payment for the agriculture of alternative crop by restricting production fields of certain products.

con el suministro de importación de alimentos, han sido las fuerzas impulsoras de las políticas para proteger la agricultura (Femenia *et al.*, 2010; Chen *et al.*, 2017; Milczarek-Andrzejewska *et al.*, 2018).

La influencia de los subsidios sobre la producción agrícola ha sido un tema importante para la economía agrícola. La cantidad de ingresos adicionales que los agricultores pueden usar de los pagos depende de muchos factores, como las condiciones del mercado (Weber y Key, 2011; Tian *et al.*, 2016, Lopez *et al.*, 2017). Uno de los objetivos principales de la Política Agrícola Común (PAC) de la Unión Europea (UE) es aumentar la productividad agrícola por medio de de subsidios. La UE ha aportado una contribución considerable al mantener in situ la agricultura sustentable y los subsidios a los agricultores para la adaptación a las condiciones del mercado. Los pagos directos han constituido el 27 % de los ingresos agrícolas de las granjas de la UE y también han constituido más del 50 % de los ingresos agrícolas de algunos tipos de granjas (Severini y Tantari, 2015; Reidsma *et al.*, 2018).

En Turquía, las políticas de apoyo a la agricultura se han implementado determinando inicialmente el precio base y realizando compras de apoyo. En los años siguientes, las políticas de apoyo se han diversificado y se han implementado políticas tales como el pago directo desacoplado, el pago de deficiencia o el pago de primas, el apoyo al ganado, el apoyo de insumos, el apoyo de crédito agrícola subsidiado y el pago compensatorio para la agricultura de cultivos

The agricultural support policies implemented as support purchases have been hanged on the obstacles of International Money Foundation's (IMF's) balanced budget constraint regarding internal policies and World Trade Organization's (WTO's) trade diversion policies regarding the external policies. The supports changing from year to year have been over the average of The Organization for Economic Co-operation and Development (OECD) area and the most distorting forms of supports have been implemented (OECD, 2017).

The essential purpose of the Turkey's agriculture policies in the last decade have been to increase the level of income and increase efficiency by enhancing the use of natural sustainable resources. The extensive government support and policy interventions in agriculture have continued and enforced the internal and external structural reformation. As mostly based on crop production, the agriculture has a fragile structure directly affected from natural disasters including climate conditions, drought, flood and frost. In the new structure, policies to direct the producers in accordance with the demand of market conditions have been adapted instead of policies including government interventions over products' prices which have unfavorable impacts on market's price formation. The implemented policies can be considered as agricultural supports to direct production, sustain agricultural production and ensure the entries of new products into production process.

alternativos al restringir los campos de producción de ciertos productos. Las políticas de apoyo a la agricultura implementadas como las compras de apoyo, se han visto obstaculizadas por las restricciones presupuestarias equilibradas del Fondo Monetario Internacional (FMI) en lo que respecta a las políticas internas; y por las políticas de desviación del comercio de la Organización Mundial del Comercio (OMC) en lo que respecta a las políticas externas. Los apoyos que cambian de año en año han estado por encima del promedio del área de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) asimismo, se han implementado las formas más distorsionantes de apoyos (OCDE, 2017).

El propósito esencial de las políticas agrícolas de Turquía en la última década ha sido aumentar el nivel de ingresos y la eficiencia al mejorar el uso de los recursos naturales sostenibles. El amplio apoyo del gobierno y las intervenciones políticas en la agricultura han continuado y aplicado la reforma estructural interna y externa. Basada principalmente en la producción de cultivos, la agricultura tiene una estructura frágil directamente afectada por desastres naturales que incluyen condiciones climáticas, sequías, inundaciones y heladas. En la nueva estructura, se han adaptado las políticas para dirigir a los productores de acuerdo con la demanda de las condiciones del mercado en vez de políticas que incluyen intervenciones gubernamentales sobre los precios de los productos las cuales tienen

Satisfaction has been studied by many psychologists, sociologists and, economists since 1990s from an environmental and ecological economic point of view. (Moro *et al.*, 2008). As the farmers' satisfaction has been accepted as one of the key indicators of sustainability, it has been prominent in scientific research and political agenda. It has been found out that economic and noneconomic successes of agriculture and farmers' perceptions are related. Farmers' job satisfaction is an indicator of general satisfaction. Therefore, farmer satisfaction can be influenced from farmer's personal traits, his knowledge about the implemented program and benefits of the programs (Chen *et al.*, 2013). Overall satisfaction is mostly determined by overall expectation and perceived performance of a product or service. General satisfaction is defined mostly by general expectation and perceived from the performance of a product or service (Ghazanfar, *et al.*, 2015). The income impact of subsidies has both favorable and unfavorable influences on efficiency and productivity. The real influence of subsidies on performance is a subject of experimental studies when both favorable and unfavorable influences are expected a priori (Zhu and Lansink, 2010).

The agricultural supports in Turkey have always increased considering the current prices. However, the increases in supports have not been continuous and subject to very low fluctuations considering the real prices and its place in Gross Domestic Product (GDP). The Turkish government has

un impacto desfavorable en la formación de precios del mercado. Las políticas implementadas pueden considerarse como apoyos agrícolas para la producción directa, mantener la producción agrícola y garantizar la entrada de nuevos productos en el proceso de producción.

La satisfacción ha sido estudiada por muchos psicólogos, sociólogos y economistas desde la década de 1990 desde un punto de vista económico, ambiental y ecológico. (Moro *et al.*, 2008). Como la satisfacción de los agricultores ha sido aceptada como uno de los indicadores clave de sostenibilidad, ha ocupado un lugar destacado en la investigación científica y en la agenda política. Se ha descubierto que los éxitos económicos y no económicos de la agricultura y las percepciones de los agricultores están relacionados. La satisfacción laboral de los agricultores es un indicador de satisfacción general. Por lo tanto, la satisfacción del agricultor puede verse influenciada por los rasgos personales del agricultor, su conocimiento sobre el programa implementado y los beneficios de los programas (Chen *et al.*, 2013). La satisfacción general está determinada principalmente por las expectativas generales y el rendimiento percibido de un producto o servicio. La satisfacción general se define principalmente por las expectativas generales y se percibe del rendimiento de un producto o servicio (Ghazanfar, *et al.*, 2015). El impacto de los subsidios en los ingresos tiene influencias favorables y desfavorables en la eficiencia y la

aimed a 5.6 % increase (the quantity of total support is 4.6 billion \$) in the agricultural support in 2015. However, the share of agricultural supports in GDP has been lower than the desired level with 0.58 % by years (2005-2014) (MOD, 2015).

This study aims to analyze the influence of agricultural supports on farmer satisfaction in order to assess the effectiveness of policy tools in this area. The agricultural support policies applied in a country aim to provide solutions to the country's specific problems including economy and agriculture. Accordingly, the differences between the policies that developed and underdeveloped countries implement are normal. The agricultural supports have been provided to farmers in different forms and quantities. In order to make established policies more efficient, they need to be reformed in accordance with the farmers' reactions.

Materials and methods

In the Basin-based support programme, which has been implemented since 2010, deficiency payment system has been applied in 16 diverse products in 30 different regions in Turkey. Hatay province is an important region because it has agricultural production in two different areas of Turkey's Agricultural Basin-based Support Programme. It has been chosen as the research field since the region makes use of all the agricultural supports and the region can be used in order to test the influence of the supports

productividad. La influencia real de los subsidios en el rendimiento es un tema de estudios experimentales cuando se esperan influencias favorables y desfavorables a priori (Zhu y Lansink, 2010).

Los apoyos agrícolas en Turquía siempre han aumentado teniendo en cuenta los precios actuales. Sin embargo, los aumentos en los apoyos no han sido continuos y están sujetos a fluctuaciones muy bajas considerando los precios reales y su lugar en el Producto Interno Bruto (PIB). El gobierno turco ha tenido como objetivo un aumento del 5,6 % (la cantidad de ayuda total es de 4.600 millones de dólares) en la ayuda agrícola en 2015. Sin embargo, por años la participación de las ayudas agrícolas en el PIB ha sido inferior al nivel deseado con un 0,58 % (2005-2014) (MOD, 2015).

Este estudio tiene como objetivo analizar la influencia de los apoyos agrícolas en la satisfacción de los agricultores para evaluar la efectividad de las herramientas de política en esta área. Las políticas de apoyo agrícola aplicadas en un país tienen como objetivo proporcionar soluciones a los problemas específicos del país, incluida la economía y la agricultura. En consecuencia, las diferencias entre las políticas que implementan los países desarrollados y subdesarrollados son normales. Los apoyos agrícolas se han proporcionado a los agricultores en diferentes formas y cantidades. Para que las políticas establecidas sean más eficientes, deben reformarse de acuerdo con las reacciones de los agricultores.

on the agricultural enterprises. The findings will represent the other enterprises with similar structures found in Mediterranean Region to a large extent.

A survey has been prepared in order to evaluate the supports that farmers take for agricultural production. The farmers have been requested to grade the fields improved after the supports on a 5-point Likert scale, which can be easily formed and it can test reliability and one-dimensionality. The change after the support is provided in the pointing scale as; 1: Strongly disagree and 5: Strongly agree. 426 agriculture enterprises, which are found in Hatay, have been involved in the present study. 195 of the enterprises are only involved in the crop production and 231 of them are involved in mixed production. National Farmer Registration System database and sampling from Food, Agriculture and Livestock Ministry of Provincial Directorates were used to choose the enterprise representing Hatay province. The data was gathered at the end of 2016 (November-December).

Data were examined in terms of missing data, outliers, and normality prior to the analysis. As the farmers' general satisfaction has been focused on the study, satisfaction related to the farmers and farm features has not been examined. It is evaluated that the subscales underlying the farmers' satisfaction in terms of agricultural supports and relationships between these subscales' indicators and farmers' satisfaction. The farmers are taken as satisfied when the expectations from the supports are

Materiales y métodos

En el programa de apoyo basado en la Cuenca, que se ha implementado desde 2010, se ha aplicado el sistema de pago por deficiencia en 16 productos diversos en 30 regiones diferentes en Turquía. La provincia de Hatay es una región importante porque tiene producción agrícola en dos áreas diferentes del Programa de Apoyo a la Cuenca Agrícola de Turquía. Se ha elegido como campo de investigación ya que la región hace uso de todos los apoyos agrícolas y la región se puede utilizar para probar la influencia de los apoyos en las empresas agrícolas. Los resultados representarán en gran medida a las otras empresas con estructuras similares encontradas en la región mediterránea.

Se preparó una encuesta para evaluar los apoyos que los agricultores reciben para la producción agrícola. Se les solicitó a los agricultores que clasificaran los campos mejorados después de los soportes en una escala Likert de 5 puntos, la cual puede formarse fácilmente y se le puede probar la confiabilidad y la unidimensionalidad. El cambio después del soporte se proporciona en la escala puntuando de la siguiente manera: 1: Muy en desacuerdo y 5: Muy de acuerdo. 426 empresas agrícolas, que se encuentran en Hatay, han participado en el presente estudio. 195 de las empresas solo están involucradas en la producción de cultivos y 231 de ellas están involucradas en la producción mixta. Se utilizó la base de datos del Sistema Nacional de Registro de Agricultores

fully met. If the expectations and supports are not fully met, the goal is also not fully achieved.

Farmers' satisfaction

Farmers' decisions depend on faith perceptions besides the other farmers. Therefore, we take psychological structures into consideration (Moon and Pino, 2018). How the farmers take decisions is an interesting subject for social scientists and policy makers who deal with the government and human behaviors. The studies conducted on farmers' decision making process and behaviors so far have either focused on limited decision sets or on economic concerns that have prevailed. The valid variables should be situated in a broad range and psychological theory should be taken into consideration prior to the evaluation for farmers' decision making model. However, there is no certain measurement tool to evaluate the farmers' attitudes or objectives, today. Lang (2005) informs that farmers' satisfaction is related to the favorable alternative agriculture practices. Subsidies may have favorable or unfavorable impacts according to the farms' technical efficiency and farm size. There are four mechanisms related to the influence of coupled and decoupled subsidies on agricultural production. These are impacts on input use, income's impact on investments, reduction of risks (with insurance) and farm growth (Zhu and Lansink, 2010; Bojnec and Latuffe, 2013).

Farmers' perceptions, attitudes, perspectives, notions and levels of satisfaction are mostly influenced from economic concerns. Accordingly, the supports implemented in the last decade

y el muestreo del Ministerio de Alimentos, Agricultura y Ganadería de las Direcciones Provinciales para elegir a las empresas que representa la provincia de Hatay. Los datos se recopilieron a finales de 2016 (noviembre-diciembre).

Los datos se examinaron en términos de datos faltantes, valores atípicos y normalidad antes del análisis. Como la satisfacción general de los agricultores se ha centrado en el estudio, no se ha examinado la satisfacción relacionada con los agricultores y las características de la granja. Se evalúa que las subescalas subyacentes a la satisfacción de los agricultores en términos de apoyos agrícolas y las relaciones entre los indicadores de estas subescalas y la satisfacción de los agricultores. Los agricultores se sienten satisfechos cuando las expectativas de los apoyos se cumplen por completo. Si las expectativas y los apoyos no se cumplen por completo, el objetivo tampoco se logra por completo.

Satisfacción de los agricultores

Las decisiones de los agricultores dependen tanto de las percepciones de confianza como de los otros agricultores. Por lo tanto, se toman en cuenta las estructuras psicológicas (Moon y Pino, 2018). La forma como los agricultores toman decisiones es un tema interesante para los científicos sociales y para los encargados de formular políticas que tratan con el gobierno y con los comportamientos humanos. Los estudios realizados sobre el proceso de toma de decisiones y los comportamientos de los agricultores hasta ahora se han centrado en el

(2008-2017) have been evaluated in order to measure the impacts of agricultural supports. Although the supports provided to the agricultural sector in the examined period were in many different ways, it was assumed that the effects of these supports on producers were based on the following categories. These are listed as use of input, crop production, livestock production, financial structure and structure of capital which is the source of agricultural production.

Measurement of latent structures

Such concepts as consumer behaviors, customer satisfaction and the perception of quality are latent variables and they need to be associated with observable variables for measurement. It involves Structural Equation Models (SEM) factor analysis which situates observable and latent variables together and defines latent variables with observable variables (Byrne, 2010; Ullman, 2012). As the factor analysis provides a model which associates theoretical processes and variables that cannot be directly measured but perceived with observations or findings, it is a useful method to study these relationships and it facilitates understanding and interpreting the structures (Hair *et al.*, 2014). Confirmatory Factor Analysis (CFA) is used in order to define the multivariate analysis which involves latent structures represented by many observed or measured variables. The number of factors is certain in CFA and they are tested. CFA is considered as a special practice area of structural equation modelling and the measurement model is handled as a typical CFA (Blunch, 2008). Additionally, CFA tests and verifies to what extent

conjunto de decisiones limitadas o en las preocupaciones económicas que han prevalecido. Las variables válidas deben situarse en un amplio rango y la teoría psicológica debe tenerse en cuenta antes de la evaluación del modelo de toma de decisiones de los agricultores. Sin embargo, hoy no existe una herramienta de medición segura para evaluar las actitudes u objetivos de los agricultores. Lang (2005) informa que la satisfacción de los agricultores está relacionada con las prácticas agrícolas alternativas favorables. Los subsidios pueden tener impactos favorables o desfavorables de acuerdo con la eficiencia técnica y el tamaño de las granjas. Existen cuatro mecanismos relacionados con la influencia de los subsidios acoplados y desacoplados en la producción agrícola. Estos son los impactos en el uso de insumos, el impacto de los ingresos en las inversiones, la reducción de riesgos (con seguro) y el crecimiento agrícola (Zhu y Lansink, 2010; Bojnec y Latuffe, 2013).

Las percepciones, las actitudes, las perspectivas, las nociones y los niveles de satisfacción de los agricultores están influenciados principalmente por las preocupaciones económicas. En consecuencia, han sido evaluados los apoyos implementados en la última década (2008-2017) para medir los impactos de los apoyos agrícolas. Aunque los apoyos proporcionados al sector agrícola en el período examinado fueron de muchas maneras diferentes, se supuso que los efectos de estos apoyos en los productores se basaban en las siguientes categorías, las cuales son nombradas como: el uso

the factor analytical structure complies with the hypothesized model data. CFA is implemented in the models from the theoretical base and differs in that way from the Explanatory Factor Analysis (Bryne, 2010).

In order for the required analysis including a model in CFA, three items should be defined. These are: determine the number of factors a priori, specify to which factors the loadings of observed variables will be loaded and provide which factor couples are associated with each other. CFA model can be demonstrated with the matrix equation (Brown, 2015); observed variables (\mathbf{x}), latent factors (ξ) and error terms (δ), apparently, the model is suitable for research.

$$\mathbf{x} = \Lambda_x \xi + \delta \quad (\text{Eq. 1})$$

Λ_x , indicates the impact of ξ on exogenous variables (\mathbf{x}). In this case, the mathematical relation of \mathbf{x}_1 is as follows;

$$x_1 = \lambda_{11} \xi_1 + \delta_1 \quad (\text{Eq. 2})$$

The lambda (λ) indicates the factor loading.

The data sets gathered to test many research problems in social sciences generally have multi-level structures. Many applications of factor analysis, structural equation models, scaling methods or cluster analysis start from correlation or covariance matrices depicting pairwise associations in a data set. Therefore, the researcher assumes that the relations in the data set can be exhaustively analyzed from multiple bivariate associations while

de insumos, la producción de cultivos, la producción ganadera, la estructura financiera y la estructura de capital que es la fuente de la producción agrícola.

Medición de las estructuras latentes

Conceptos como los comportamientos del consumidor, la satisfacción del cliente y la percepción de calidad son variables latentes y deben asociarse con variables observables para la medición. Se trata de un análisis factorial de los Modelos de ecuaciones estructurales (SEM) que sitúa las variables observables y latentes juntas y define las variables latentes con variables observables (Byrne, 2010; Ullman, 2012). Como el análisis factorial proporciona un modelo que asocia procesos teóricos y variables que no pueden medirse directamente, pero percibirse con observaciones o hallazgos, es un método útil para estudiar estas relaciones y facilita la comprensión e interpretación de las estructuras (Hair *et al.*, 2014). El análisis factorial confirmatorio (CFA) se utiliza para definir el análisis multivariado que involucra estructuras latentes representadas por muchas variables observadas o medidas. El número de factores es seguro en CFA y se prueban. El CFA se considera un área de práctica especial del modelado de ecuaciones estructurales y el modelo de medición se maneja como un CFA típico (Blunch, 2008). Además, el CFA prueba y verifica en qué medida la estructura analítica del factor cumple con los datos del modelo hipotético. El CFA se implementa en los modelos

applying these methods. However, in many instances higher order relations need to be considered in order to obtain a satisfactory description of an observed frequency distribution. While some scales are first level multifactor model in nature, other scales can be second level multifactor model. The basic assumption of this model is that the latent variables consisting of observed variables can be explained in a single dimension in the second level. Therefore, it would be better to test the first and second level models. However, as the theoretical structures are studied in these types of models, they can become the focus of criticism despite the existence of many studies in the literature (Hair *et al.*, 2014). The estimations have been made with the Maximum Likelihood (ML) method in the analysis, and SPSS and AMOS 22.0 programs have been used to build models. ML estimation method, is the most frequently used estimation method in CFA, which requires multiple normal distribution assumption and provides effective estimations in data which is not very skewness and not extremely kurtosis.

Results and discussion

The agricultural support tools used to reach the objectives in agriculture involves deficiency payments, compensatory payments, livestock supports (including fodder crops, artificial insemination, milk premiums, risk-free livestock areas, beekeeping and fishery supports), support for crop insurance, rural development support and environmental set-aside. The model provided in the study and these impacts

desde la base teórica y difiere de esa manera del Análisis Factorial Explicativo (Bryne, 2010).

Para el análisis requerido que incluye un modelo en CFA, se deben definir tres elementos. Estos son: determinar el número de factores a priori, especificar a qué factores se les colocarán las cargas de las variables observadas y proporcionar qué pares de factores están asociados entre sí. El modelo CFA se puede demostrar con la ecuación matricial (Brown, 2015); variables observadas (x), factores latentes (ξ) y términos de error (δ), aparentemente, el modelo es el adecuado para la investigación.

$$x = \Lambda_x \xi + \delta \quad (\text{Ec. 1})$$

Λ_x , indica el impacto de ξ sobre las variables exógenas (x). En este caso, la relación matemática de x_1 es como sigue;

$$x_1 = \lambda_{11} \xi_1 + \delta_1 \quad (\text{Ec. 2})$$

Lambda (λ) indica el factor de carga.

Los conjuntos de datos reunidos para probar muchos problemas de investigación en ciencias sociales generalmente tienen estructuras de niveles múltiples. Muchas aplicaciones de análisis factorial, modelos de ecuaciones estructurales, métodos de escala o análisis de conglomerados comienzan con matrices de correlación o covarianza que representan asociaciones por pares en un conjunto de datos. Por lo tanto, el investigador supone que las relaciones en el conjunto de datos

are taken as subcomponents of farmers' satisfaction.

The model built according to the theoretical structure of the study is found at table 1 below. Indicators defined by 21 observed variables, five latent variable structure connected by observed variables and single latent variable model constituting the second level structure have been explained in the model.

pueden analizarse exhaustivamente a partir de múltiples asociaciones bivariadas al aplicar estos métodos. Sin embargo, en muchos casos se deben considerar relaciones de orden superior para obtener una descripción satisfactoria de una distribución de frecuencia observada. Mientras que algunas escalas son modelo multifactor de primer nivel en la naturaleza, otras escalas pueden ser

Table 1. Constructs and indicators.

Tabla 1. Constructos e indicadores.

Indicator observed variables		Constructs latent variables		Second-Order CFA
Agricultural credit usage (+)	X1			
Certified seed usage (+)	X2			
Marketing opportunities (+)	X3	Crop support	ξ_1	
Supported crops cultivation (+)	X4			
Known for the next period crops	X5			
Seed usage (+)	X6			
Fertilizer usage (+)	X7			
Pesticide usage (+)	X8	Input support	ξ_2	
Labor usage (+)	X9			
Fuel usage and the number of tool-machine (+)	X10			
Agricultural income (+)	X11			
Power to pay debt (+)	X12	Financing structure support	ξ_3	Farmer's satisfaction η_1
Farmer's debt (-)	X13			
Power of cash purchasing for input (+)	X14			
Forage usage (+)	X15			
Veterinary services utilization (+)	X16			
Veterinary vaccine-medicine usage (+)	X17	Livestock support	ξ_4	
Fodder crops production (+)	X18			
New agricultural land acquisition planned	X19			
The planned increase in the number of animals	X20	Capital structure support	ξ_5	
New tools and equipment purchases planned	X21			

(+): increased; (-): decreased. ξ_i : exogenous construct; η : endogenous construct.

(+): creciente; (-): decreciente. ξ_i : constructo exógeno; η : constructo endógeno.

First-order CFA results

According to the first-order CFA analysis results, factor loadings of indicators are between 0.64 and 0.93 (table 2). Variables with factor loadings over 0.70 are evaluated at the acceptable level in CFA. However, some researchers state that the rule may be bended at the beginning of scale development. The present study which will provide theoretical contribution regarding the farmer satisfaction about the agricultural supports has made use of the items having factor loading with or over 0.50 (Kline, 2011; Hair *et al.*, 2014).

X4 (Supported crops cultivation) and X5 (Known for the next period crops) variables found in the structure indicating the effects of support for agricultural production have the highest factor loading among the observed variables. These two observed variables cover the subject of determining the crop products and acreages. It has been found out that the provided supports contribute most to the farmers in this way and save them from uncertainty. The X3 variable has the lowest factor loading and covers increasing the product marketing opportunities indicating that farmers need to be supported more in this field. The X12 variable which indicates the increase in the power to pay debts in the third observed variable group including the supports for financial structure of the farmers has the highest factor loading. Although, the supports have increased the farmers' power to pay debts, it has not sufficiently affected the increase in income. The X15 variable which indicates the increase in use of forage has the highest factor loading

modelo multifactor de segundo nivel. La suposición básica de este modelo es que las variables latentes que consisten en variables observadas pueden explicarse en una sola dimensión en el segundo nivel. Por lo tanto, sería mejor probar los modelos de primer y segundo nivel. Sin embargo, a medida que las estructuras teóricas se estudian en este tipo de modelos, pueden convertirse en el foco de la crítica a pesar de la existencia de muchos estudios en la literatura (Hair *et al.*, 2014). Las estimaciones se han realizado con el método de Máxima Verosimilitud (ML) en el análisis, y se utilizaron los programas SPSS y AMOS 22.0 para construir modelos. El método de estimación de ML es el método de estimación más utilizado en CFA, que requiere una suposición de distribución normal múltiple y proporciona estimaciones efectivas en datos que no son muy sesgados ni con extrema curtosis.

Resultados y discusión

Las herramientas de apoyo a la agricultura utilizadas para alcanzar sus objetivos incluyen los pagos de deficiencia, los pagos compensatorios, las ayudas para el ganado (incluidos cultivos forrajeros, inseminación artificial, primas de leche, áreas ganaderas sin riesgo, apoyo para la apicultura y la pesca), el apoyo para el seguro de cultivos, el desarrollo rural apoyo y la reserva ambiental. El modelo proporcionado en el estudio y estos impactos se toman como subcomponentes de la satisfacción de los agricultores.

in the fourth variable group consisting of supports for livestock production. In contrast, the X18 variable which refers to the supports for the increase in fodder crop production has the lowest factor loading. Accordingly, the supports for the fodder crop production have been insufficient and there has been need for additional supports in this context.

El modelo construido de acuerdo con la estructura teórica del estudio se encuentra a continuación en la tabla 1. Se han explicado en el modelo los indicadores definidos por 21 variables observadas, cinco estructuras de variables latentes conectadas por variables observadas y un modelo de variable latente única que constituye

Table 2. First-order CFA results.

Tabla 2. Resultados del CFA de primer orden.

Constructs	Indicators	λ_i				AVE (%)	ρ_c Composite reliability
		Loadings- weightings	S.E	C.R	P		
ξ_1	X1	0.829	*	*	*	0.710	0.924
	X2	0.817	0.039	26.811	0.003		
	X3	0.721	0.035	31.877	0.000		
	X4	0.930	0.046	19.050	0.000		
	X5	0.863	0.044	23.876	0.000		
ξ_2	X6	0.773	*	*	*	0.676	0.912
	X7	0.871	0.043	20.961	0.000		
	X8	0.815	0.044	23.648	0.000		
	X9	0.758	0.040	26.306	0.000		
	X10	0.694	0.045	21.600	0.000		
ξ_3	X11	0.719	*	*	*	0.617	0.866
	X12	0.784	0.047	20.225	0.000		
	X13	0.775	0.042	20.372	0.000		
	X14	0.744	0.046	18.118	0.000		
	X15	0.795	*	*	*		
ξ_4	X16	0.750	0.044	19.716	0.000	0.623	0.868
	X17	0.750	0.046	19.516	0.000		
	X18	0.641	0.044	21.123	0.000		
ξ_5	X19	0.838	*	*	*	0.740	0.895
	X20	0.920	0.041	27.156	0.000		
	X21	0.838	0.043	23.411	0.000		

CR: Critical Ratio; *: The value was not estimate due to the required constraint for model identification where non standardized regression weight of the item is fixed to default 1. AVE: Average Variance Extracted.

CR: Ratio crítico; *: El valor no se estimó debido a la restricción requerida para la identificación del modelo donde el peso de regresión no estandarizado del elemento se fija por defecto 1. AVE: Varianza promedio extraída

Considering the first-order CFA results generally, most farmers have been saved from the uncertainty regarding the agricultural production decisions. However, the existing problems have continued in the marketing of agricultural products. The supports for agricultural input used have been considered as insufficient, except the fertilizer use. There has been decrease in the debts of farmers thanks to the increased power to pay debts, but the agricultural incomes have not reached the desired level. Despite the increases in the forage use, which is the most important input of livestock production, the farmers' fodder production has not been at a sufficient level. Even if there have been increases in the livestock capital of agricultural enterprises, the increases in the agricultural lands and tool-machine have been relatively lower.

The composite scale reliability enables the evaluation of internal consistency and is assumed by making use of factor loadings as it is not affected from the number of indicators in each scale (Bagozzi and Yi, 1988; Schermelleh-Engel *et al.*, 2003). Hair *et al.*, (2014) accepts 0.7 level acceptable for the Composite Reliability and 0.5 level for the Average Variance Extracted (AVE). The reliability of composite structures changes between 0.87 and 0.92 and AVE values change between 0.62 and 0.74. Accordingly, it is clear that the internal consistency and structure validity are provided in a favorable level in the measurement model.

la estructura de segundo nivel.

Resultados del CFA de primer orden

Según los resultados del análisis CFA de primer orden, las cargas factoriales de los indicadores están entre 0,64 y 0,93 (tabla 2). Las variables con cargas de factor superiores a 0,70 se evalúan al nivel aceptable en CFA. Sin embargo, algunos investigadores afirman que la regla puede ser modificada al comienzo del desarrollo de la escala. El presente estudio, que proporcionará una contribución teórica con respecto a la satisfacción del agricultor en relación con los apoyos agrícolas, ha utilizado los elementos que tienen un factor de carga de 0,50 o más (Kline, 2011; Hair *et al.*, 2014).

Las variables X4 (Apoyo para siembra de cultivos) y X5 (Cultivos conocidos para el próximo período) que se encuentran en la estructura, indican que los efectos del apoyo a la producción agrícola tienen la mayor carga de factores entre las variables observadas. Estas dos variables observadas cubren el tema de determinar los productos de cultivo y las hectáreas. Se ha descubierto que los apoyos proporcionados son más favorables a los agricultores de esta manera y los salvan de la incertidumbre. La variable X3 tiene la carga de factor más baja y cubre el aumento de las oportunidades de comercialización del producto, lo que indica que los agricultores necesitan más apoyo en este campo. La variable X12, la cual indica el aumento en el poder de pagar las deudas en el tercer grupo variable observado,

The different items have been examined in terms of scales, based on the evaluation of the observed variables, the reliability of the item, the self-consistency of the items that measure the same structure and the discriminant validation of the different items that were measured. The correlations among the sub-dimensions of farmer satisfaction from agricultural supports and the square root of AVE values have been used. The value of AVE square roots has been higher than 0.50 and values of correlating among the sub-dimensions. As seen from the table 3, the model's discriminant validity has been provided.

incluidos los apoyos para la estructura financiera de los agricultores, tiene la mayor carga de factores. Aunque los apoyos han aumentado el poder de los agricultores para pagar deudas, no ha afectado suficientemente el aumento de los ingresos. La variable X15 que indica el aumento en el uso de forraje, tiene el mayor factor de carga en el cuarto grupo variable que consiste en apoyos para la producción ganadera. En contraste, la variable X18 que se refiere a los soportes para el aumento en la producción de cultivos forrajeros tiene la carga de factor más baja. En consecuencia, los apoyos para la producción de cultivos forrajeros han sido insuficientes y ha habido

Table 3. Factor correlation matrix with square root of the AVE on the diagonal.

Tabla 3. Matriz de correlación de factores con raíz cuadrada del AVE en diagonal.

Factors	Crops	Inputs	Finance	Livestock	Capital
Crops	0.835				
Inputs	0.314	0.784			
Finance	0.037	0.095	0.756		
Livestock	0.072	0.229	0.266	0.736	
Capital	0.074	-0.038	0.303	0.132	0.862

The highlighted values in diagonals are the square roots of AVE calculated from sub-dimension and the other values indicate the correlation values among sub-dimensions. Square root of AVE is greater than inter-construct correlations.

Los valores resaltados en diagonales son las raíces cuadradas de AVE calculadas a partir de la subdimensión y los otros valores indican la correlación entre subdimensiones. La raíz cuadrada de AVE es mayor que las correlaciones entre constructos.

Second-order CFA results

Five latent variables determined after the first-order CFA and 21 observed variables connected by the latent variables, have been connected

necesidad de apoyos adicionales en este contexto.

Considerando los resultados CFA de primer orden en general, la mayoría de los agricultores se han salvado de

to the “farmers’ satisfaction” latent variable and analyzed through a second-order CFA model. Eighty-one percent of the total variance related to the farmer satisfaction has been explained by the latent structure in second-order model and the rest belongs to the error variance. The most effective component on the farmer satisfaction has been found as the supports for improving the farmers’ financial situation ($\beta_1 = 0.549$; $p < 0.001$). The second most effective sub-component on farmers’ satisfaction is livestock supports ($\beta_2 = 0.488$; $p < 0.001$). However, it should be noted that the livestock subsidies have only been used by the enterprises involved in livestock business and mixed enterprises. The other sub-components, which are effective on farmers’ satisfaction, are supports for improving the capital structure and subsidies for input use respectively. The subsidy for crop production ($\beta_3 = 0.212$; $p < 0.003$) is the least effective sub-component (table 4). The second-order model has been found as suitable by examining the significance level of model coefficients and model compatibility indices.

Considering the quantity of supports provided to the farmers, deficiency payment support, area-based support and livestock support have the biggest shares. The deficiency payment support is for the crop production and area-based supports are mostly for input use. It should be taken into consideration that there cannot be certain divisions related to the effects of the subsidies on agricultural production. It is quite

la incertidumbre con respecto a las decisiones de producción agrícola. Sin embargo, los problemas existentes han continuado en la comercialización de productos agrícolas. Los soportes para insumos agrícolas utilizados se han considerado insuficientes, excepto el uso de fertilizantes. Ha habido una disminución en las deudas de los agricultores gracias al mayor poder para pagar las deudas, pero los ingresos agrícolas no han alcanzado el nivel deseado. A pesar de los aumentos en el uso de forraje, que es el insumo más importante de la producción ganadera, la producción de forraje de los agricultores no ha sido suficiente. Incluso, si ha habido aumentos en el capital ganadero de las empresas agrícolas, los aumentos en las tierras agrícolas y la maquinaria han sido relativamente más bajos.

La confiabilidad de la escala compuesta permite la evaluación de la consistencia interna y se asume haciendo uso de las cargas factoriales, ya que no se ve afectada por el número de indicadores en cada escala (Bagozzi y Yi, 1988; Schermelleh-Engel *et al.*, 2003). Hair *et al.* (2014) consideran un nivel de 0.7 aceptable para la fiabilidad compuesta y un nivel de 0.5 para la variación promedio extraída (AVE). La confiabilidad de las estructuras compuestas cambia entre 0.87 y 0.92 y los valores de AVE cambian entre 0.62 y 0.74. En consecuencia, está claro que la consistencia interna y la validez de la estructura son proporcionadas en un nivel favorable en el modelo de medición.

Los diferentes ítems han sido examinados en términos de escalas,

ordinary for the deficiency payments support provided for crop production to favorably affect the farmers' financial and capital structures. Similarly, the area-based supports for input use favorably affect the farmers' financial and capital structures. According to the results of analysis, the supports, which are effective on farmers' financial structure and livestock production, are the most effective supports for farmer satisfaction.

con base en la evaluación de las variables observadas, la confiabilidad y la autoconsistencia de los ítems que miden la misma estructura así como la validación discriminante de los diferentes ítems que fueron medidos. Se han utilizado las correlaciones entre las subdimensiones de satisfacción de los agricultores con los apoyos agrícolas y la raíz cuadrada de los valores de AVE. El valor de las raíces cuadradas del AVE ha sido superior a 0,50 y los valores de correlación entre

Table 4. The second-order CFA results.

Tabla 4. Resultados del CFA de segundo orden.

η_i		ξ_i	λ_i	S.E	C.R	P	β_i	R^2
Farmer's satisfaction	→	Finance	0.462	0.081	5.720	0.0	0.549	0.301
	→	Livestock	0.347	0.066	5.245	0.0	0.488	0.238
	→	Capital	0.364	0.080	4.540	0.0	0.358	0.128
	→	Inputs	0.230	0.060	3.803	0.0	0.299	0.089
	→	Crops	0.212	0.072	2.965	0.0	0.222	0.049

Farmer satisfaction was associated with the farmers' perceptions of the economic and non-economic rewards of farming. A study in Alabama (USA), affirmed that net farm income was a more important determinant of farmers' satisfaction with farming than the total household income. Accordingly, the positive relationship between farmers' satisfaction with agricultural production and their financial situations is found as the most important latent variable in the study. At the same time, farmers' satisfaction affects farmers' benefits from the program (Chen *et al.*, 2017). The second most effective support

las subdimensiones. Como se ve en la tabla 3, se ha proporcionado la validez discriminante del modelo.

Resultados del CFA de segundo orden

Cinco variables latentes determinadas después del CFA de primer orden y 21 variables observadas conectadas por las variables latentes, se han conectado a la variable latente "satisfacción de los agricultores" y se han analizado a través de un modelo CFA de segundo orden. El ochenta y uno por ciento de la varianza total relacionada con la satisfacción del agricultor se ha explicado por la estructura latente en el modelo de

group on farmer satisfaction is livestock subsidies. The area-based supports for agricultural input use and crop production and deficiency payment support are much less effective on farmer satisfaction. The impacts of agricultural support and subsidies on farm incomes (coupled or decoupled), input use and farm capital have been found in parallel with the findings of Zhu and Lansink's (2010) studies. It has been found out that strengthening corporate structure (especially thanks to consultancy), financial and human resources and transition to more acceptable technologies have increased the farmer satisfaction level (Kamaruddin, 2013). In this respect, improving farmers' financial structures and providing agricultural extension and consultancy will increase the farmer satisfaction (Huergo and Moreno 2017).

There have been various statistics in evaluation of research data to model fit. It is advised in practice to use more than one index together. The values of fit indices chosen in model evaluation are found at table 5. The goodness of fit values, $\chi^2/df < 3$, $0.97 \leq CFI \leq 1$, $0.95 \leq TLI \leq 1$, $0 < RMSEA < 0.05$, provide perfect fit scales. As for GFI, $0.90 \leq GFI \leq 0.95$ has provided acceptable goodness of fit values (Kline, 2011). The statistics of fit indexes has presented good fit of model. It has been confirmed that the relevant dimensions of associated variables related to the farmer satisfaction from agricultural supports. In other words, the model puts forward that data is confirmed by the structural model.

segundo orden y el resto pertenece a la varianza del error. El componente más efectivo en la satisfacción del agricultor se ha encontrado en el apoyo para mejorar la situación financiera del agricultor ($\beta_1 = 0.549$; $p < 0.001$). El segundo subcomponente más efectivo para la satisfacción de los agricultores es el apoyo al ganado ($\beta_2 = 0.488$; $p < 0.001$). Sin embargo, debe tenerse en cuenta que los subsidios al ganado solo han sido utilizados por las empresas involucradas en negocios ganaderos y empresas mixtas. Los otros subcomponentes, que son efectivos para la satisfacción de los agricultores, son apoyos para mejorar la estructura de capital y subsidios para el uso de insumos, respectivamente. El subsidio para la producción de cultivos ($\beta_3 = 0.212$; $p < 0.003$) es el subcomponente menos efectivo (tabla 4). Se ha encontrado que el modelo de segundo orden es adecuado al examinar el nivel de significancia de los coeficientes del modelo y sus índices de compatibilidad.

Teniendo en cuenta la cantidad de apoyo brindado a los agricultores, el apoyo al pago de deficiencia, el apoyo basado en el área y el apoyo al ganado tienen la mayor parte. El apoyo de pago por deficiencia es para la producción de cultivos y los apoyos por área son principalmente para uso de insumos. Debe tenerse en cuenta que no puede haber ciertas divisiones relacionadas con los efectos de los subsidios en la producción agrícola. Es bastante normal que el apoyo a los pagos por deficiencia, proporcionado para la producción de cultivos, afecte favorablemente las

Table 5. Fit indexes for two models.**Tabla 5. Índices de ajuste para dos modelos.**

Model	χ^2	χ^2/df	GFI	TLI	CFI	RMSEA
First-order	244.860	1.368	0.949	0.984	0.986	0.029
Second-order	294.427	1.600	0.938	0.974	0.977	0.038

GFI: goodness of fit index; TLI: Tucker-Lewis index; CFI: comparative fit index; RMSEA: root mean square error of approximation.

GFI: índice de bondad de ajuste; TLI: índice de Tucker-Lewis; CFI: índice de ajuste comparativo; RMSEA: error cuadrático medio de aproximación.

Conclusions

According to the results of the data first level analysis, crop production supports are positively perceived. Support for input usage was found inadequate by farmers. Farmers' incomes have not been adequately increased, but their debts have decreased. While there are increases in forage use as a result of husbandry supports, farmers' forage plant production is still inadequate. Likewise, the improvements in the capital assets of agricultural enterprises are not sufficient. When the results of the second level analysis are evaluated in general, farmers' satisfaction has been positively affected by animal husbandry supports with the supports for the most financed structure. Supports for plant production have had minimal impact. It can be said that low-interest loans provided for the financial structure of farmers and husbandry in recent years in Turkey have caused these effects.

New policy regulations have been conducted for agricultural support

estructuras financieras y de capital de los agricultores. Del mismo modo, los apoyos basados en el área para el uso de insumos afectan favorablemente las estructuras financieras y de capital de los agricultores. Según los resultados del análisis, los apoyos, que son efectivos en la estructura financiera de los agricultores y la producción ganadera, son los apoyos más efectivos para la satisfacción de los agricultores.

La satisfacción del agricultor se asoció con las percepciones de los agricultores de las recompensas económicas y no económicas de la agricultura. Un estudio en Alabama (EE. UU.) afirmó que el ingreso neto de la granja era un determinante más importante de la satisfacción de los agricultores con la agricultura que el ingreso total del hogar. En consecuencia, la relación positiva entre la satisfacción de los agricultores con la producción agrícola y sus situaciones financieras se encuentra como la variable latente más importante en el estudio. Al mismo tiempo, la satisfacción de los agricultores afecta los beneficios del programa (Chen *et*

policies to be more effective in increasing the agricultural output level in Turkey. The problem in Turkey is that the support policies change frequently without resorting to structural regulations in agriculture. The supports have increased the farmers' general welfare and satisfaction. It should be measured to what extent reforms in the implemented policies influence farmers' economic performance. The agricultural supports should be increased to a sufficient level and regulations to ease support payments should be prepared. Facilitating the support payments and making payments on time may be the factors enhancing farmer satisfaction.

According to the findings of the study, the agricultural supports are partly successful at the farmers' level and there are many areas in need of improvement in Turkey. These are mostly related to the betterment of marketing of the agricultural product, input use, low income in agricultural production, and capital structure. However, the implemented agricultural supports and subsidies (for example, deficiency payment and subsidized agricultural credit) have been used for nonagricultural economic needs. Therefore, the policies to be applied in agriculture should be long term.

In cases, where variables cannot be observed directly, the indicator groups can be used for measurement. It would be extremely useful to use these models in conjunction with other multi-variable analyses when trying to understand farmer behavior that cannot be measured directly.

al., 2017). El segundo grupo de apoyo más efectivo para la satisfacción de los agricultores son los subsidios al ganado. Los apoyos por área para el uso de insumos agrícolas y la producción de cultivos y el apoyo al pago por deficiencias son mucho menos efectivos para la satisfacción de los agricultores. Los impactos del apoyo agrícola y los subsidios en los ingresos agrícolas (acoplados o desacoplados), el uso de insumos y el capital agrícola se han encontrado en paralelo con los hallazgos de los estudios de Zhu y Lansink (2010). Se ha descubierto que el fortalecimiento de la estructura corporativa (especialmente gracias a la consultoría), los recursos financieros y humanos y la transición a tecnologías más aceptables han aumentado el nivel de satisfacción de los agricultores (Kamaruddin, 2013). A este respecto, la mejora de las estructuras financieras de los agricultores y la prestación de servicios de extensión y consultoría agrícolas aumentarán la satisfacción de los agricultores (Huerdo y Moreno, 2017).

Ha habido varias estadísticas en la evaluación de datos de investigación para modelar el ajuste. En la práctica, se recomienda usar más de un índice junto. Los valores de los índices de ajuste elegidos en la evaluación del modelo se encuentran en la tabla 5. Los valores de bondad de ajuste $\chi^2 / df < 3$, $0.97 \leq CFI \leq 1$, $0.95 \leq TLI \leq 1$, $0 < RMSEA < 0.05$, proporcionan escalas de ajuste perfecto. En cuanto al GFI, $0.90 \leq GFI \leq 0.95$ ha proporcionado valores aceptables de bondad de ajuste (Kline, 2011). Las estadísticas de los índices de ajuste han presentado

End of English Version

un buen ajuste del modelo. Se ha confirmado que las dimensiones relevantes de las variables asociadas están relacionadas con la satisfacción del agricultor por los apoyos agrícolas. En otras palabras, el modelo propone que los datos son confirmados por el modelo estructural.

Conclusiones

Según los resultados del análisis de datos del primer nivel, los apoyos a la producción de cultivos se perciben positivamente. El apoyo al uso de insumos fue encontrado inadecuado por los agricultores. Los ingresos de los agricultores no se han incrementado adecuadamente, pero sus deudas han disminuido. Si bien hay un aumento en el uso de forraje como resultado de los apoyos de la cría, la producción de plantas forrajeras de los agricultores sigue siendo inadecuada. Del mismo modo, las mejoras en los activos de capital de las empresas agrícolas no son suficientes. Cuando los resultados del análisis de segundo nivel se evalúan en general, la satisfacción de los agricultores se ha visto afectada positivamente por los apoyos de cría de animales con los apoyos para la estructura más financiada. Los apoyos para la producción de plantas han tenido un impacto mínimo. Se puede decir que los préstamos a bajo interés proporcionados para la estructura financiera de los agricultores y la cría en Turquía en los últimos años han causado estos efectos.

Se han llevado a cabo nuevas regulaciones de políticas para que las políticas de apoyo agrícola sean más efectivas para aumentar el nivel de producción agrícola en Turquía. El problema en Turquía es que las políticas de apoyo cambian con frecuencia sin recurrir a regulaciones estructurales en la agricultura. Los apoyos han aumentado el bienestar general y la satisfacción de los agricultores. Debe medirse hasta qué punto las reformas en las políticas implementadas influyen en el desempeño económico de los agricultores. Los apoyos agrícolas deben incrementarse a un nivel suficiente y deben prepararse regulaciones para facilitar los pagos de apoyo. Facilitar estos pagos de apoyo y hacer los pagos a tiempo pueden ser los factores que mejoren la satisfacción de los agricultores.

Según los resultados del estudio, los apoyos agrícolas son parcialmente exitosos a nivel de los agricultores y hay muchas áreas que necesitan mejoras en Turquía. Estos están principalmente relacionados con el mejoramiento de la comercialización del producto agrícola, el uso de insumos, los bajos ingresos en la producción agrícola y la estructura de capital. Sin embargo, los apoyos y subsidios agrícolas implementados (por ejemplo, pago de deficiencia y crédito agrícola subsidiado) se han utilizado para necesidades económicas no agrícolas. Por lo tanto, las políticas a aplicar en la agricultura deben ser a largo plazo.

En los casos en que las variables no se pueden observar directamente, los grupos de indicadores se pueden

usar para la medición. Sería extremadamente útil utilizar estos modelos junto con otros análisis de múltiples variables al tratar de comprender el comportamiento del agricultor que no se puede medir directamente.

Literature cited

- Bagozzi, R.P. and Y. Yi. 1988. On the evaluation of structural equation models. *J. Acad. Mark. Sci.* 16(1):74-94.
- Blunch, N.J. 2008. Introduction to structural equation modelling using SPSS and AMOS. First edition. Sage Pub. Ltd. London. 279 p.
- Bojnec, S. and L. Latuffe. 2013. Farm size, agricultural subsidies and farm performance in Slovenia. *Land Use Policy* 32:207-217.
- Bradley, J.R., O. Gergaud, S.T. Ho and F. Livat. 2018. Trade liberalization in the presence of domestic regulations: public policies applied to EU and U.S. wine markets. *Appl. Econ.* 50(18):2028-2047.
- Brown, T.A. 2015. Confirmatory factor analysis for applied research. Second edition. The Guilford Press, New York. 530 p.
- Byrne, B.M. 2010. Structural equation modelling with Amos: basic concepts, applications and programming. Second edition. Taylor and Francis Group, LLC. 418 p.
- Chen, D., K. Kitang, L. Zhao and Y. Zhang. 2013. Will China's cooperative medical system fail again? Insight from farmer satisfaction survey. *Health Promot. Int.* 30(2):251-261.
- Chen, Y., X. Wen, B. Wang and P. Nie. 2017. Agricultural pollution and regulation: How to subsidize agriculture? *J. Clean. Prod.* 164:258-264.
- Femenia, F., A. Gohin and A. Carpentier. 2010. The decoupling of farm programs: Revisiting the wealth effect. *Am. J. Agric. Econ.* 92(3):836-848.
- Ghazanfar, S., Z.Q. Wen, M. Abdullah, I. Khan and J. Ahmed. 2015. Structural modeling for determinants of farmer satisfaction with crop loan insurance in Pakistan. *Am. Eurasian J. Agric. Env. Sci.* 15(5):932-943.
- Hair J.K., W.C. Black, B.J. Babin and R.E. Anderson. 2014. Multivariate data analysis. Seventh edition. Pearson Education Ltd., Harlow, UK. 739 p.
- Huergo, E. and L. Moreno. 2017. Subsidies or loans? Evaluating the impact of R&D support programmes. *Res. Policy* 46:1198-1214.
- Kamaruddin, R., J. Ali and N.M. Saad. 2013. Happiness and its influencing factors among paddy farmers in Granary Area of Mada. *World Applied Sci. J.* 28:91-99.
- Kline, R.B. 2011. Principle and practice of structural equation modeling. Third edition. The Guilford Press, New York. 554 p.
- Lang, K.B. 2005. Expanding our understanding of community supported agriculture (CSA): An examination of member satisfaction. *J. of Sustain. Agric.*, 26(2): 61-79.
- Lopez, R.A., X. He and E.D. Falcis. 2017. What drives China's new agricultural subsidies? *World Development* 93:279-292.
- Milczarek-Andrzejewska, D., K. Zawalińska and A. Czarnecki. 2018. Land-use conflicts and the Common Agricultural Policy: Evidence from Poland. *Land Use Policy* 73:423-433.
- Minviel, J.J. and K.D. Witte. 2017. The influence of public subsidies on farm technical efficiency: A robust conditional nonparametric approach. *Eur. J. Op. Res.* 259:1112-1120.
- MOD. 2015. The tenth development plan (2014-2018), Turkey Ministry of Development, Ankara, Turkey. 212 p. Available on: <http://www.mod.gov.tr/Pages/DevelopmentPlans.aspx>. Date of consultation: June 2017.
- Moon, W. and G. Pino. 2018. Do U.S. citizens support government intervention in agriculture? Implications for the







- political economy of agricultural protection. *Agric. Econ.* 49:119-129.
- Moro, M., F. Brereton, S. Ferreira and J.P. Clinch. 2008. Ranking quality of life using subjective well-being data. *Ecol. Econ.* 65(3):448-460.
- Norton, R.D. 2004. *Agricultural development policy, concept and experiences.* John Wiley and Sons, Ltd, West Sussex, England. 540 p.
- OECD. 2017. *Agricultural policy monitoring and evaluation 2017.* OECD publishing. Available on: <http://www.oecd.org/tad/agricultural-policies/monitoring-and-evaluation.htm>. Date of consultation: May 2017.
- Reidsma, P., J. Sander, J. Jacques and K.M. van Ittersum. 2018. On the development and use of farm models for policy impact assessment in the European Union – A review. *Agric. Sys.* 159:111-125.
- Schermelleh-Engel, K., H. Moosbrugger and H. Müller. 2003. Evaluating the fit of structural equation models: Test of significance and descriptive Goodness-of-Fit measures. *Methods of Psychological Research* 8(2):23-74.
- Severini, S. and A. Tantari. 2015. Which factors affect the distribution of direct payments among farmers in the EU Member States? *Emprica* 42:25-48.
- Sibande, L., A. Bailey and S. Davidova. 2017. The impact of farm input subsidies on maize marketing in Malawi. *Food Policy* 69:190-206.
- Tang, X., J. Wang, B. Zhang and L. Zhang. 2017. Application of the DEA on the performance evaluation of the agricultural support policy in China. *Agric. Econ.* 63(11):510-523.
- Tian, Q., J.H. Holland and D.G. Brown. 2016. Social and economic impacts of subsidy policies on rural development in the Poyang Lake Region, China: Insights from an agent-based model. *Agric. Sys.* 148:12-27.
- Ullman, J.B. 2012. Structural equation modeling. *In:* Tabachnick B.G. and L.S. Fidell (Eds.). *Using multivariate statistics.* Sixth edition. Pearson Education Inc. New Jersey. P: 681-785.
- Weber, J.G. and N. Key. 2011. How much do decouple payments affect production? An instrumental variable approach with panel data. *Am. J. Agric. Econ.* 94(1):52-66.
- Zhu, X. and A.O. Lansink. 2010. Impact of CAP subsidies on technical efficiency of crop farms in Germany, the Netherlands and Sweden. *J. Agric. Econ.* 61(3):545-564.

Tipificación socio-agronómica y energética de productores de maíz en la región Frailesca, Chiapas, México

Socio-agronomic and energy typification of maize-farmers in the Frailesca region of Chiapas, Mexico

Tipificação socioeconômica e energética de produtores de milho na região de Frailesca, Chiapas, México

Franklin B. Martínez-Aguilar¹, Francisco Guevara-Hernández^{2*}, Manuel A. La O-Arias², Carlos E. Aguilar-Jiménez², Luis A. Rodríguez-Larramendi³ y René Pinto-Ruiz²

¹Estudiante de Doctorado en Ciencias Agropecuarias y Sustentabilidad. Universidad Autónoma de Chiapas (UNACH). Carretera Ocozocoautla-Villaflores km. 84.5 C.P. 30470. Villaflores, Chiapas. Correo electrónico: franklin.martinez@unach.mx, ; ²Profesor de la Universidad Autónoma de Chiapas (UNACH), Facultad de Ciencias Agronómicas. Carretera Ocozocoautla-Villaflores km. 84.5 C.P. 30470 Apdo. Postal 78, Villaflores, Chiapas. Correo electrónico: (FGH): fragueher@prodigy.net.mx, ; (MALO) manuel.arias@unach.mx, ; (CEAJ) ejimenez@unach.mx, ; (RPR) rene.pinto@unach.mx, ; ³Profesor de la Facultad de Ingeniería, Sede Villa Corzo. Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas (UNICACH). Carretera Villa Corzo-Monterrey km 3, Villa Corzo CP 30520, Villa Corzo, Chiapas, México. Correo electrónico: alfredo.rodriguez@unicach.mx, .

Resumen

La identificación y caracterización de tipos de productores del agroecosistema maíz es imprescindible para el desarrollo de estrategias socio-productivas efectivas y sustentables. En cuatro municipios de la región Frailesca del estado de Chiapas, México; se tipificó a los productores de maíz y se caracterizó su agroecosistema desde el punto de vista de criterios de socioeconómicos, productivos y energéticos. Además, se determinó su relación con las formas de manejo del agroecosistema convencional, agroecológica y mixta. Fue una investigación socio-agronómica del

Recibido el 25-05-2020 • Aceptado el 31-07-2020.

*Autor de correspondencia. Correo electrónico: francisco.guevara@unach.mx

tipo descriptiva y con un enfoque de sistemas y flujos energéticos. La muestra empleada fue de 300 productores de maíz. Para el manejo de los datos, se empleó la estadística descriptiva y análisis multivariado exploratorio de componentes principales y conglomerados para construir tipologías. Se identificaron cinco tipos de productores de maíz sobre la base de seis componentes que explicaron 83 % de la varianza total. Dentro de estas componentes se destacaron: “Rendimiento y Eficiencia”, “Perfil Maíz” (se refiere al peso del componente maíz dentro del sistema productivo) y “Consumo Energético”. Los grupos de productores identificados se etiquetaron como: “Productores pequeños”, “Productores mayores”, “Productores mixtos ganadería-maíz”, “Productores de subsistencia” y “Productores maíz-rastrojo”. Todos los grupos identificados se caracterizan por tener superficies pequeñas para la siembra de maíz, pero se consideran con una eficiencia energética aceptable, superior a 10 MJ y rendimientos entre 2,8 y 4,0 t.ha⁻¹, superiores a la media para el estado de Chiapas. En la región Frailesca predomina el manejo de agricultura convencional, en el 86 % de los sistemas estudiados.

Palabras clave: caracterización, *Zea mays* L., tipos de productores.

Abstract

The identification and characterization of farmers types in the maize agroecosystem is an essential element for the development of effective and sustainable socio-productive strategies. In four municipalities of the Frailesca region in Chiapas, Mexico; maize farmers were typified and their agroecosystem was characterized regarding the criteria: socioeconomic, productive and energy efficiency. Besides, farmers relation to conventional, agro-ecological and mixed production strategies was determined. It was an exploratory socio-agronomic and descriptive research focused on a system approach and energy flows. The sample used was 300 farmers. For data management, descriptive statistics and exploratory multivariate analysis of principal components and clusters were used to construct the typologies. Five types of farmers-groups were identified based on six components that explained 83 % of the total variance. Among these components, the following stood out: “Yield and Efficiency”, “Maize profile” (refers to the type of maize and its importance within the system) and “Energy Consumption”. The typified groups of farmers were labeled as: “Small farmers”, “Major farmers”, “Mixed livestock-maize farmers”, “Subsistence farmers” and “Maize-stubble producers”. All groups are characterized by having small maize areas, but they are considered to have an acceptable energy efficiency, greater than 10 MJ and yields between 2.8 and 4.0 t.ha⁻¹, higher than the average for the state of Chiapas. All groups were efficient in the use of energy, as result of the high productive and economic capacity of the agroecosystem. The maize yield is between 2.8 and 4.0 t.ha⁻¹ and the energy efficiency is higher than 10 MJ. Conventional agriculture management predominates in the region in 86 % of the studied systems.

Key words: characterization, *Zea mays* L., type of farmers.

Resumo

A identificação e caracterização dos tipos de produtores do agroecossistema do milho são essenciais para o desenvolvimento de estratégias socioprodutivas eficazes e sustentáveis. Em quatro municípios da região Frailesca do estado de Chiapas, México; os produtores de milho foram tipificados e seu agroecossistema foi caracterizado do ponto de vista de critérios socioeconômicos, produtivos e energéticos. Além disso, foi determinada sua relação com as formas convencionais, agroecológicas e mistas de manejo do agroecossistema. Tratou-se de uma pesquisa sócio-agronômica descritiva com foco em sistemas e fluxos energéticos. A amostra utilizada foi de 300 produtores de milho. Para o gerenciamento dos dados, foram utilizadas estatísticas descritivas e análises exploratórias multivariadas de componentes principais e conglomerados para construir as tipologias. Cinco tipos de produtores de milho foram identificados com base em seis componentes que explicaram 83% da variância total. Dentre esses componentes, destacam-se: “Rendimento e Eficiência”, “Perfil do Milho” (refere-se ao peso do componente milho no sistema de produção) e “Consumo de Energia”. Os grupos de produtores identificados foram rotulados como: “Pequenos produtores”, “Grandes produtores”, “Produtores mistos de milho-pecuária”, “Produtores de subsistência” e “Produtores de restolho de milho”. Todos os grupos identificados se caracterizam por possuírem pequenas áreas para semeadura de milho, mas são considerados com eficiência energética aceitável, superior a 10 MJ e produtividades entre 2,8 e 4,0 t.ha⁻¹, superiores à média do estado de Chiapas. Na região de Frailesca, o manejo da agricultura convencional predomina em 86 % dos sistemas estudados. **Palavras-chave:** caracterização, *Zea mays* L., tipos de produtores.

Introducción

En México, el cultivo de maíz es una de las actividades agrícolas más importantes. La superficie cultivada es de 3,8 millones de hectáreas y la producción promedio anual de 24,3 millones de toneladas (SIAP, 2018). En el estado de Chiapas, el 70 % de la producción de maíz se envía a otros estados del país que no son autosuficientes (SAGARPA, 2017). Entre los municipios más productivos en el estado se encuentran Villaflores, Villa Corzo, El Parral y La Concordia, donde el cultivo ocupa alrededor del 17

Introduction

In Mexico, growing corn is one of the most important agricultural activities. The cultivated area is 3.8 million hectares and the average annual production of 24.3 million tons (SIAP, 2018). In the state of Chiapas, 70 % of the corn production is sent to other states of the country that are not self-sufficient (SAGARPA, 2017). Among the most productive municipalities in the state are Villaflores, Villa Corzo, El Parral and La Concordia, where the crop occupies around 17 % of the agricultural area and contributes 22 %

% de la superficie agrícola y aporta el 22 % de la producción estatal (INEGI, 2018). El desarrollo productivo en estos municipios se sustenta en el empleo de variedades mejoradas y tecnologías convencionales. En este sentido, el 88 % de los productores utilizan fertilizantes, 76 % usa insecticidas y 65 % herbicidas (Guevara *et al.*, 2018). Además, el 32 % de los productores usa semillas mejoradas, mientras que el 68 % emplea semillas de origen local, conocidas como criollas (Delgado-Ruiz *et al.*, 2018). Esto hace evidente una matriz de consumo energético básicamente industrial que conduce a emisiones de gases de efecto invernadero (IDAE, 2009; Ocaña, 2015).

En estos cuatro municipios, el rendimiento promedio de maíz, bajo temporal (lluvia estacional), es de 3,24 t.ha⁻¹, superior a la media estatal de 1,9 t.ha⁻¹ (SIAP, 2018). Estos resultados productivos se obtienen en una alta diversidad de combinaciones tecnológicas. La lógica productivista apoya la idea de que el empleo de insumos industriales incrementa la matriz de consumo energético, pero se compensa con la respuesta productiva. Sin embargo, otros puntos de vista asumen la idea de sustituir insumos industriales para reducir el consumo energético y obtener resultados productivos similares de una manera sustentable en el tiempo.

Ante esto, la sustentabilidad se concibe como la acción del hombre en relación a su ambiente y busca un equilibrio entre lo ecológico, lo económico y lo social para lograr mantener la producción de un sistema

of the state production (INEGI, 2018). Productive development in these municipalities is based on the use of improved varieties and conventional technologies. In this sense, 88 % of producers use fertilizers, 76 % use insecticides and 65 % herbicides (Guevara *et al.*, 2018). In addition, 32 % of producers use improved seeds, while 68 % use seeds of local origin, known as criollas (Delgado-Ruiz *et al.*, 2018). This makes evident a basically industrial energy consumption matrix that leads to greenhouse gas emissions (IDAE, 2009; Ocaña, 2015).

In these four municipalities, the average maize yield, under temporary (seasonal rain), is 3.24 t.ha⁻¹, higher than the state average of 1.9 t.ha⁻¹ (SIAP, 2018). These productive results are obtained in a high diversity of technological combinations. The Productivist logic supports the idea that the use of industrial inputs increases the energy consumption matrix, but is offset by the productive response. However, other points of view assume the idea of substituting industrial inputs to reduce energy consumption and obtain similar productive results in a sustainable way over time.

In view of this, sustainability is conceived as the action of man in relation to his environment and seeks a balance between the ecological, the economic and the social in order to maintain the production of a system constantly over time and reduces the negative impact on the area resources (Toledo, 2015). In this sense, the corn agroecosystem for the area of study represents the largest economic

de manera constante en el tiempo y disminuye el impacto negativo sobre los recursos de la zona (Toledo, 2015). En ese sentido, el agroecosistema maíz para la zona de estudio representa la mayor actividad económica y se desarrolla con una alta diversidad de racionalidades tecnológicas y socioeconómicas.

En esencia esta diversidad se distribuye de forma gradual, desde una racionalidad que promueve los ciclos agroecológicos de regeneración-regulación (Altieri, 2002) hasta una racionalidad centrada en el productivismo que fomenta un proceso lineal y extractivo. En este espectro no solo se enmarcan las tecnologías productivas, sino también las estrategias de relación con el agroecosistema, la familia y el entorno socioeconómico. Un enfoque sistémico y el análisis energético, metodológicamente contribuyen a operacionalizar las variables implicadas y muchos de sus indicadores se proyectan como indicadores de sustentabilidad. Por ejemplo, los procesos de reciclaje de nutrientes se reflejan en el balance de insumos industriales requeridos y los procesos lineales en la relación entre energía consumida *versus* energía producida.

Por ello, la tipificación socio-productiva de los agricultores y la caracterización de su agroecosistema, bajo un enfoque sistémico y de eficiencia energética es muy importante en los análisis de sustentabilidad (Hellin *et al.*, 2013; Purroy *et al.*, 2016). En ese tenor, la identificación y caracterización de tipos de productores del agroecosistema maíz

activity and is developed with a high diversity of technological and socioeconomic rationalities.

In essence, this diversity is gradually distributed, from a rationality that promotes agroecological cycles of regeneration-regulation (Altieri, 2002) to a rationality focused on productivism that fosters a linear and extractive process. In this spectrum, not only productive technologies are framed, but also strategies related to the agroecosystem, the family and the socioeconomic environment. A systemic approach and energy analysis methodologically contribute to operationalize the variables involved and many of its indicators are projected as sustainability indicators. For example, nutrient recycling processes are reflected in the balance of required industrial inputs and linear processes in the relationship between energy consumed versus energy produced.

For this reason, the socio-productive classification of farmers and the characterization of their agroecosystem, under a systemic and energy efficiency approach, is very important in sustainability analyzes (Hellin *et al.*, 2013; Purroy *et al.*, 2016). In this sense, the identification and characterization of types of producers of the corn agroecosystem is essential for the development of effective and sustainable socio-productive strategies. This segmentation allows development actors to work with recommendation and analysis domains, which are adjusted to the particularities of each agroecosystem and its forms of management (Méndez-

es imprescindible para el desarrollo de estrategias socio-productivas efectivas y sustentables. Esta segmentación permite a los actores del desarrollo trabajar con dominios de recomendación y análisis, que se ajusten, a las particularidades de cada agroecosistema y sus formas de manejo (Méndez-Cortés *et al.*, 2019). Por lo anterior, la presente investigación tuvo como objetivo tipificar a los productores de maíz y caracterizar su agroecosistema desde el punto de vista de la sustentabilidad con criterios socioeconómicos, productivos y energéticos, en cuatro municipios de la región Frailesca, de Chiapas.

Materiales y métodos

Localización y características del área de estudio

La investigación se llevó a cabo en cuatro municipios (Villaflora, Villa Corzo, El Parral y La Concordia) de la región Frailesca en el estado de Chiapas, México, ubicados entre las coordenadas 16°14'00"N 93°16'09"O, y 16°14'00"N 93°16'09"O (Figura 1). Esta área geográfica, es la de mayor producción de maíz en el estado, con un rendimiento promedio de 3,24 t.ha⁻¹ (INEGI, 2018), presenta una temperatura promedio 24,5 °C, con 1200 mm de lluvia en el verano. Como contraparte, en la Frailesca predomina la agricultura de pequeña escala, donde los productores practican formas diferentes de manejo (convencional, agroecológica y mixta) del agroecosistema maíz, de acuerdo con las condiciones edafoclimáticas, los costos de

Cortés *et al.* 2019). Therefore, the present research aimed to typify corn producers and characterize their agroecosystem from the point of view of sustainability with socioeconomic, productive and energy criteria, in four municipalities of the Frailesca region of Chiapas.

Materials and methods

Location and characteristics of the study area

The investigation was carried out in four municipalities (Villaflora, Villa Corzo, El Parral and La Concordia) of the Frailesca region in the state of Chiapas, Mexico, located between coordinates 16 ° 14'00 " N 93 ° 16'09 " W, and 16 ° 14'00 " N 93 ° 16'09 " W (Figure 1). This geographical area is the one with the highest corn production in the state, with an average yield of 3.24 t ha⁻¹ (INEGI, 2018), it presents an average temperature of 24.5 °C, with 1200 mm of rain in the summer. As a counterpart, small-scale agriculture predominates in La Frailesca, where producers practice different forms of management (conventional, agroecological and mixed) of the maize agroecosystem, according to the edaphoclimatic conditions, production costs, the destination of the product and the changes of the region cultivation patterns (Ocaña, 2015; Guevara *et al.*, 2018).

Methodology

For the typification of producers, an interdisciplinary methodology was used with a development systemic approach (Chambers, 1993;

producción, el destino del producto y los cambios en los patrones de cultivo en la región (Ocaña, 2015; Guevara *et al.*, 2018).

Hagmann, 1999). Socioeconomic, productive and environmental criteria were used as suggested by Guevara-Hernández (2007) and Rodríguez

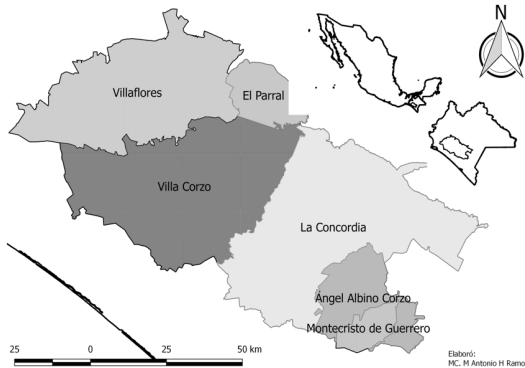


Figura 1. Localización de los municipios productores de maíz en la Frailesca, Chiapas (México).

Figure 1. Location of corn producing municipalities in La Frailesca, Chiapas (Mexico).

Metodología

Para la tipificación de productores se utilizó una metodología interdisciplinaria con un enfoque sistémico para el desarrollo (Chambers, 1993; Hagmann, 1999). Se utilizaron criterios socioeconómicos, productivos y ambientales de acuerdo a lo sugerido por Guevara-Hernández (2007) y Rodríguez y Guevara (2009). Para ello, se tomó como base la población reportada por SAGARPA de 7.888 productores de maíz, con 54.873 ha cultivadas bajo siembra de temporal (SIAP, 2018). El tipo de muestreo utilizado fue aleatorio simple y para definir el tamaño de muestra se empleó la fórmula de Scheaffer y Mendenhall

and Guevara (2009). To do so, the population reported by SAGARPA of 7,888 corn producers was taken as a basis, with 54,873 ha cultivated under rainfed sowing (SIAP, 2018). The type of sampling used was simple randomized and the Scheaffer and Mendenhall (2004) formula was used to define the sample size. A total of 300 producers from 75 communities were studied. Producer interviews and surveys were applied to analyze 17 variables grouped into socioeconomic, productive and energy criteria of the corn agroecosystem (Table 1). To estimate the energy indicators, the total energy inputs and outputs in the production process were calculated, from the product the total volume of

(2004). Se estudiaron un total de 300 productores de 75 comunidades. Se aplicaron entrevistas y encuestas a los productores para analizar 17 variables agrupadas en criterios socioeconómicos, productivos y energéticos del agroecosistema maíz (Cuadro 1). Para la estimación de los indicadores energéticos se calculó el total de entradas y salidas energéticas en el proceso productivo, a partir del producto el volumen total de cada elemento por su equivalencia energética representada en el Cuadro 2, de acuerdo con Funes (2009). La eficiencia energética es la razón: producción de energía/consumo, mientras que la intensidad energética es la razón volumen de producción / consumo energético. En este sentido se consideró la energía directa para el cálculo de las entradas y salidas del sistema (Pimentel, 1980).

each element by its energy equivalence represented in Table 2, according to Funes (2009). Energy efficiency is the ratio: energy production / consumption, while energy intensity is the ratio volume of energy production / consumption. In this sense, direct energy was considered to calculate the inputs and outputs of the system (Pimentel, 1980).

Information analysis

To reduce the dimensionality of the study variables, a principal component analysis was applied (Escobar and Berdegúe, 1990) where the components with eigenvalues greater than one were extracted. The extracted components were considered as new variables and were used in the cluster analysis to establish groups of producers, based on the forms of management of the agroecosystem with similar characteristics. To establish

Cuadro 1. Criterios y variables estudiadas para tipificar productores y caracterizar el agroecosistema maíz en la región Frailesca de Chiapas.

Table 1. Criteria and variables studied to typify producers and characterize the maize agroecosystem in the Frailesca region of Chiapas.

Criteria	Variables
Socioeconómicos	Ingresos totales (pesos mexicanos)
	Comercialización maíz elote
	Comercialización maíz rastrojo
	Ingresos por la venta (maíz) (pesos mexicanos)
Productivos	Ingresos por la venta (rastrojo) (pesos mexicanos)
	Costos de producción (pesos mexicanos) 25: 1 USD
	Superficie agrícola (ha)
	Superficie forestal (ha)
	Superficie maíz (ha)
	Superficie ganadera (ha)
Energéticos	Producción de rastrojo (t.ha ⁻¹)
	Rendimiento de maíz (t.ha ⁻¹)
	Intensidad energética (kg/MJ)
	Energía producida (MJ/ha ⁻¹)
	Rendimiento energético (kg/MJ ⁻¹)
	Eficiencia energética (Energía producida/Energía consumida)
	Personas alimentadas con energía

Cuadro 2. Equivalencia energética de los insumos directos empleados y productos utilizados en el análisis.**Table 2. Energy equivalence of direct inputs and products used in the analysis.**

Insumo	Unidad	Kcal/unidad	Fuente
Trabajo humano	Horas	250	(Funes, 2001)
Trabajo animal	Horas	1800	(Funes, 2001)
Semilla (en general)	kg	25714,3	(Perales <i>et al.</i> , 2005)
Diésel	L	9243	(Masera y Astier, 1995)
Gasolina	L	8150	(Masera y Astier, 1995)
Sulfato de amonio (21%)	kg	10755	(IDAE, 2009)
Herbicida	L	57000	(Funes, 2001)
Insecticida	L	44000	(Funes, 2001)
Maquinaria		21000	(Masera y Astier, 1995)
Tractor agrícola	Horas	1015,4	(Funes <i>et al.</i> , 2011)
Producto (Maíz, grano seco)	kg	3656,7	(Funes, 2009)
Frijol	kg	3322,1	(Funes, 2009)

Análisis de información

Para reducir la dimensionalidad de las variables de estudio, se aplicó un análisis de componentes principales (Escobar y Berdegué, 1990) en el que se extrajeron los componentes con autovalores superiores a uno. Los componentes extraídos se consideraron como nuevas variables y se emplearon en el análisis de conglomerados para establecer grupos de productores, a partir de las formas de manejo del agroecosistema con características similares. Para establecer asociaciones entre los tipos definidos de productores y las formas de manejo de agroecosistema se realizaron análisis factoriales de correspondencias múltiples. Finalmente, se aplicaron análisis de varianzas simples- y la prueba de Duncan para identificar las variables originales que aportaron significativamente a la diferenciación de los tipos de productores. Se utilizó el software Statistica (StatSoft, 2007).

associations between the defined types of producers and the forms of agroecosystem management, factorial analyzes of multiple correspondences were carried out. Finally, simple analysis of variance and Duncan's test were applied to identify the original variables that significantly contributed to the differentiation of the types of producers. The Statistica software (StatSoft, 2007) was used.

Results and discussion

The principal components analysis (AFCP) allowed the identification of six components or factors that explained 83 % of the total variance. Of the 17 variables included, the following stand out in the conformation of the components and the establishment of typologies: yield and efficiency energy consumption, corn profile, corn and stubble marketing, corn trade and nonagricultural surface.

The most important differences between the forms of agroecosystem

Resultados y discusión

El análisis de componentes principales (AFCP) permitió identificar seis componentes o factores que explicaron el 83 % de la varianza total. De las 17 variables incluidas, destacaron en la conformación de las componentes y el establecimiento de tipologías, el rendimiento y eficiencia, consumo energético, perfil maíz, comercialización de elote y rastrojo, comercio de elote y superficie no agrícola (Cuadro 3)

management studied are reflected in terms of their efficiency and their profile for cultivation. These two components explain practically half of the variability between forms of management and combine a total of nine original variables. It is relevant to mention that energy efficiency is associated to production yields, within Component I: “Performance and Efficiency”, but not correlated with Component III: “Energy consumption”. This means that the use of industrial inputs does not always

Cuadro 3. Componentes principales y porcentaje de la varianza extraída y la acumulada.

Table 3. Main components and percentage of the extracted and accumulated variance.

Componente	Variable original	Correlación	Varianza explicada acumulada
Rendimiento y eficiencia	Rendimiento (kg/ha)	0,96	26%
	Energía producida (Mcal)	0,96	
	Rendimiento energético	0,88	
	Eficiencia energética	0,88	
	Personas alimentadas energía	0,96	
Perfil Maíz	Superficie agrícola	0,88	46%
	Superficie maíz	0,92	
	Ingresos Maíz grano	0,91	
	Ingresos totales	0,91	
Consumo energético	Energía directa	0,98	57%
	Intensidad energética	0,90	
Comercialización de elote y rastrojo	Comercialización (Maíz en elote)	-0,82	65%
	Comercialización (Maíz Rastrojo)	-0,83	
Comercio de elote	Ingresos Elote	0,87	74%
	Costo total producción de maíz	0,85	
Superficie no agrícola	Superficie ganadera (ha)	-0,84	83%
	Superficie forestal (ha)	-0,77	

Las diferencias más importantes entre las formas de manejo del agroecosistema estudiadas se reflejan en cuanto a su eficiencia y su perfil para el cultivo. Estos dos componentes explican prácticamente la mitad de la variabilidad entre formas de manejo y combinan un total de nueve variables originales. Es relevante mencionar que la eficiencia energética está asociada a los rendimientos productivos, dentro de la Componente I: “Rendimiento y Eficiencia”, pero no correlacionada con la Componente III: “Consumo energético”. Esto significa que el empleo de insumos industriales no siempre tiene un efecto productivo suficiente y que bajo formas de manejo del agroecosistema de menor consumo de estos, también se logran obtener rendimientos competitivos.

Tipificación de productores

Se conformaron cinco grupos o tipos de productores a partir de las puntuaciones resultantes del análisis factorial de componentes principales, usando el método de la distancia euclidiana (Figura 2).

have a sufficient productive effect and that under forms of agroecosystem management with lower consumption of these, competitive yields are also achieved.

Producer classification

Five groups or types of producers were formed from the scores resulting from the factorial analysis of principal components, using the method of Euclidean distance (Figure 2).

Type I (“Small corn growers”) includes 27 % of producers. They are characterized by obtaining the highest yields and energy-productive efficiency; In addition, this type has a high profile for its products marketing. However, they cultivate in small areas (1.25 ha on average) with low energy consumption. These producers are capable of producing more energy in the form of agricultural products than they consume in cultural activities within the agroecosystem (Delgado, 2017). From the economic point of view, the high marketing profile

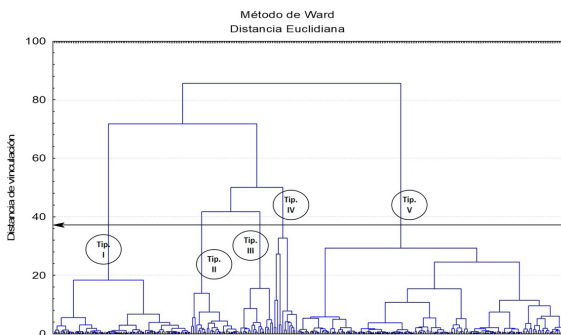


Figura 2. Tipología de productores de maíz en cuatro municipios de la Frailesca, Chiapas; formados a partir de los clústeres del análisis de conglomerados jerárquicos.

Figure 2. Typology of maize producers in four municipalities of La Frailesca, Chiapas; formed from the clusters of hierarchical cluster analysis.

El tipo I (“Maiceros pequeños”) incluye el 27 % de productores. Se caracterizan por obtener los más altos rendimientos y eficiencia energética-productiva; además, presenta un perfil alto de comercialización de sus productos. Sin embargo, cultivan en superficies pequeñas (1,25 ha promedio) con bajo consumo de energía. Estos productores son capaces de producir más energía en forma de productos agropecuarios que la que consumen en actividades culturales dentro del agroecosistema (Delgado, 2017). Desde el punto de vista económico, el perfil alto de comercialización se relacionó con la cercanía del área de producción con los espacios de acopio de los productos agrícolas (Delgado-Ruiz *et al.*, 2018).

El tipo II (“Productores mayores” o Maiceros) representa al 9 % de los productores. Son netamente productores de maíz y, en general, similares al tipo I, en cuanto a la eficiencia energética alta y su proyección hacia la comercialización. Pero se diferencian por tener superficies de cultivo mucho mayores (7,38 ha promedio).

El tipo III (“Productores de subsistencia” o de bajo perfil) está conformado por el 7 % de los casos, y se caracteriza por practicar una agricultura de subsistencia y autoconsumo, se encuentran en las zonas marginales y con potencial productivo bajo. Esto se refleja en la eficiencia energética baja y la superficie pequeña de maíz cultivado. Al respecto, Sánchez *et al.* (2014) indican que los productores que practican una agricultura tradicional se encuentran en una posición geográfica marginada y más lejana a los puntos de venta del

was related to the proximity of the production area to the storage spaces for agricultural products (Delgado-Ruiz *et al.* 2018).

Type II (“Major Producers” or Maiceros), represents 9 % of the producers. They are clearly corn producers and, in general, similar to type I, in terms of high energy efficiency and their projection towards commercialization. But they differ by having much larger cultivation areas (7.38 ha on average).

Type III (“subsistence producers” or low-profile) is made up of 7 % of the cases, and is characterized by practicing subsistence agriculture and self-consumption, they are found in marginal areas and with low productive potential. This is reflected in the low energy efficiency and the small acreage of corn grown. In this regard, Sánchez *et al.* (2014) indicate that producers who practice traditional agriculture are in a marginalized geographical position and further away from the grain sales points, where intermediaries are used as a mechanism to sell the production that needs to be sold. This is due to the fact that the cultivation areas are mainly in the surrounding areas or buffer zones of protected natural reserves and the orography that is presented is of the mountains relief type.

Type IV (“Mixed livestock-corn producers”) represents 5 % of the producers, their profile is non-agricultural due to their livestock activity and in some cases forestry. It also presents a high projection in the economic components. Their forms of

grano, donde el intermediarismo es utilizado como mecanismo de venta de la producción que requiere ser vendida. Esto se debe a que las áreas de cultivo se encuentran principalmente en zonas aledañas o de amortiguamiento de reservas naturales protegidas y la orografía que se presenta es del tipo relieve montañoso.

El tipo IV (“Productores mixtos ganadería-maíz”) representa el 5 % de los productores, su perfil es no-agrícola por su actividad ganadera y en algunos casos forestal. Presenta además una proyección alta en las componentes económicas. Sus formas de producción de maíz son más dinámicas y tienen dos o más cosechas en el año, ya que cuentan con riego (Figura 3).

corn production are more dynamic and have two or more harvests in the year, since they have irrigation (Figure 3).

Type V (“Corn-stubble producers” or low profile II), is the majority, constituted by 52 % of the producers. This group is limited in the “Corn Profile” component and they complement their income strategy with the marketing of stubble. They show lower levels of efficiency than the rest of the groups due to the export of stubble from the agroecosystem and reduce the nutrient recycling processes associated with conservation agriculture. This is consistent with its poorly productive soils subject to degradation processes described by López *et al.* (2018) and López *et al.* (2019).

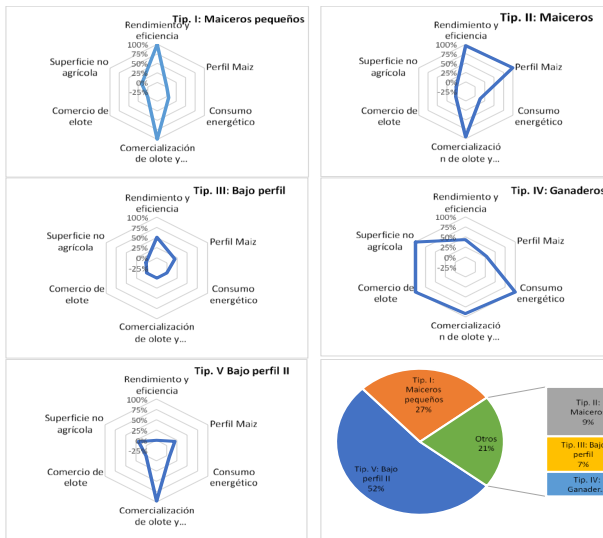


Figura 3. Caracterización de los tipos de productores definidos con base en las puntuaciones factoriales de las componentes.

Figure 3. Characterization of the defined producer’s types based on the factorial scores of the components.

El tipo V (“Productores maíz-rastrojo” o bajo perfil II), es mayoritario, constituido por el 52 % de los productores. Este grupo está limitado en el componente “Perfil maíz” y complementan su estrategia de ingresos con la comercialización del rastrojo. Muestran niveles de eficiencia inferior al resto de los grupos debido que la exportación de rastrojo del agroecosistema reduce los procesos de reciclaje de nutrientes asociados a la agricultura de conservación. Esto es consistente con sus suelos poco productivos y sometidos a procesos de degradación descritos por López *et al.* (2018) y López *et al.* (2019).

Los cinco tipos de productores evidencian una eficiencia energética superior a 10 MJ (energía producida/energía consumida), lo que coincide con Pimentel (1980) quien encontró que la eficiencia energética promedio del cultivo de maíz es de 11,84 MJ producidos por cada MJ invertido. Es decir, en el área ocupada por estos municipios existen condiciones propicias para el cultivo del maíz sobre la base de insumos industriales, pero la integración de prácticas agroecológicas, también ha demostrado efectividad (López *et al.*, 2019).

No obstante, entre los grupos de productores existen ciertas prácticas de producción, así como flujos financieros que los diferencian. Algunos de ellos, venden la producción en elote (mazorca tierna) con mejor precio de venta, a diferencia de quienes lo comercializan como grano. Por ello, el estudio energético y su flujo, resulta muy importante, sobre todo cuando

The five types of producers show an energy efficiency greater than 10 MJ (energy produced / energy consumed), which coincides with Pimentel (1980) who found that the average energy efficiency of the corn crop is 11.84 MJ produced for each MJ invested. That is, in the area occupied by these municipalities, there are favorable conditions for the cultivation of corn based on industrial inputs, but the integration of agroecological practices has also shown effectiveness (López *et al.*, 2019).

However, there are certain production practices among producer groups, as well as financial flows that differentiate them. Some of them sell their production in corn (tender corn) with a better sale price, unlike those who market it as grain. Therefore, the study of energy and its flow is very important, especially when it is necessary to know the efficiency of the agroecosystem (Mandal *et al.*, 2002; Funes *et al.*, 2011; Purroy-Vázquez *et al.*, 2019).

Energy efficiency

The analysis of variance determined that the groups identified are different in terms of energy flows (Figure 4). Group I presents an energy efficiency of 17.37 MJ, followed by group II, with 16.13 MJ. Both groups have the most energy efficient producers, as a result of the adequate use of inputs by corn and the moment of its application, which makes efficient the transformation of the energy consumed versus the energy produced. The lowest values of energy efficiency are found in group V with 10.18 MJ and group IV with 9.87 MJ. This is

se requiere conocer la eficiencia del agroecosistema (Mandal *et al.*, 2002; Funes *et al.*, 2011; Purroy-Vázquez *et al.*, 2019).

due to the low use of industrial inputs in the agroecosystem and because the soils are not very productive, that is, either degraded or in poor conditions

Cuadro 4. Caracterización de las tipologías a partir de las variables originales*, asociadas a componentes.

Table 4. Characterization of the typologies based on the original variables*, associated to the components.

Comp.	Tipología		Tip. I	Tip. II	Tip. III	Tip. IV	Tip. V	Sig
	Variables	N	80	28	20	14	158	
Rendimiento y eficiencia	Eficiencia energética	X	17,29 ^a	1610 ^a	13,72 ^b	9,73 ^c	10,14 ^c	***
		DE	3,56	4,80	4,63	5,72	2,89	
	Rendimiento (kg.ha ⁻¹)	X	4368,75 ^a	4928,57 ^a	3700,00 ^b	3678,57 ^b	276582 ^c	***
		DE	577,77	716,40	864,51	774,77	762,73	
	Energía producida (Mcal)	X	15975 ^b	18022 ^a	13529 ^c	13451 ^c	10113 ^d	***
		DE	2112	2619	3161	2833	2789	
Perfil Maíz	Superficie agrícola	X	2,58 ^c	8,37 ^a	3,21 ^c	6,64 ^b	4,19 ^{bc}	***
		DE	1,03	3,78	1,38	5,58	2,62	
	Superficie maíz	X	1,94 ^d	7,38 ^a	2,88 ^c	5,57 ^b	3,18 ^c	***
		DE	0,81	3,37	1,17	5,26	1,96	
	Ingresos totales	X	27993 ^d	130237 ^a	38712 ^d	53689 ^b	30339 ^d	***
		DE	16148	51771	22616	39418	25438	
Consumo energético	Energía directa	X	947,95 ^c	1303,45 ^b	1036,91 ^{bc}	3156,89 ^a	1027,70 ^{bc}	***
		DE	157,10	868,76	238,18	4313,31	261,59	
	Intensidad energética	X	0,22 ^c	0,28 ^c	0,32 ^c	0,89 ^a	0,40 ^b	***
		DE	0,04	0,23	0,18	1,21	0,17	
Comercialización de elote y rastrojo	Comercialización (Maíz en elote)	X	4,00 ^a	3,96 ^a	3,20 ^b	3,71 ^{ab}	4,00 ^a	***
		DE	0,00	0,19	1,06	0,61	0,00	
	Comercialización (Maíz Rastrojo)	X	4,00 ^a	4,00 ^a	2,40 ^b	3,79 ^{ab}	3,94 ^a	***
		DE	0,00	0,00	1,10	0,58	0,23	
Comercio de elote	Ingresos Elote	X	0,00	0,00	500,00 ^b	11803,57 ^a	0,00	***
		DE	0,00	0,00	2236,07	13871,26	0,00	
	Costo total producción de maíz	X	9430 ^b	10615 ^b	10099 ^b	18624 ^a	9624 ^b	***
		DE	1622	2276	2221	5567	2392	
Superficie no agrícola	Superficie ganadera (ha)	X	0,93 ^c	2,11 ^b	0,00	25,50 ^a	3,45 ^b	***
		DE	3,06	6,53	0,00	47,75	9,38	
	Superficie forestal (ha)	X	1,03 ^c	2,79 ^b	0,86 ^c	15,57 ^a	2,69 ^b	***
		DE	1,87	3,76	1,49	54,83	6,74	

Letras diferentes por filas, indican diferencias significativas ($p < 0,05$) al aplicar la prueba de Duncan. X: Promedio, DE: Desviación Estándar.

Different letters per row indicate significant differences ($p < 0,05$) when applying Duncan's test. X: Average SD: Standard Deviation.

Eficiencia energética

El análisis de varianza determinó que los grupos identificados son diferentes en cuanto a los flujos de energía (Figura 4). El grupo I presenta una eficiencia energética de 17,37 MJ, seguido del grupo II, con 16,13 MJ. Ambos grupos tienen a los productores energéticamente más eficientes, como resultado del aprovechamiento adecuado de los insumos por parte del maíz y del momento de su aplicación, lo que hace eficiente la transformación de la energía consumida *versus* la energía producida. Los valores más bajos de la eficiencia energética los encontramos en el grupo V con 10,18 MJ y el grupo IV con 9,87 MJ. Esto se debe al bajo uso de insumos industriales en el agroecosistema y por presentar suelos pocos productivos, es decir, ya sea degradados o en malas condiciones para la producción. En ese sentido, Purroy *et al.* (2016) indican que la eficiencia energética de los agroecosistemas resulta ser una herramienta metodológica para la caracterización de productores.

En el análisis por municipio, no existió diferencia estadística significativa para la eficiencia energética del agroecosistema, ya que los valores fluctuaron entre 13,18 MJ y 14,17 MJ (Figura 4). Estos valores indican que el agroecosistema maíz,

for production. In this sense, Purroy *et al.* (2016) indicate that the energy efficiency of agroecosystems turns out to be a methodological tool for the characterization of producers.

In the analysis by municipality, there was no statistically significant difference for the energy efficiency of the agroecosystem, since the values fluctuated between 13.18 MJ and 14.17 MJ (Figure 4). These values indicate that the maize agroecosystem, at the municipal level, is efficient in transforming energy, so it can be stated coincidentally with Purroy *et al.* (2019) that the agroecosystem presents viable productive and economic indicators.

In this sense, regarding grain production, the least efficient group of producers was II with 2.8 t.ha⁻¹, while the rest produced between 3.8 and 4.0 t.ha⁻¹. However, these yields exceed that reported for Chiapas (1.9 t.ha⁻¹) and 3.24 t.ha⁻¹ for the Frailesca region, where the four municipalities studied belong (SIAP, 2018), in addition, 70 % of the producers are classified as subsistence, and have a plot of less than 2.1 ha (ASICH, 2007).

The forms of production

The typology of producers associated with the forms of management of the corn agroecosystem by municipality, allowed to visualize the integration of the technology used in production with respect to the geographical area (Figure 5). The multiple correspondence analysis showed significant statistical associations between these variables. The forms of management are associated in the following way: the agroecological

al nivel municipal, es eficiente en la transformación de la energía, por lo que se puede afirmar coincidentemente con Purroy *et al.* (2019) que el agroecosistema presenta indicadores productivos y económicos viables.

system with group II, the mixed system with group IV and the conventional system with groups I, III and V. However, in the municipal analysis, it is observed that Villaflores, Villa Corzo and El Parral are associated

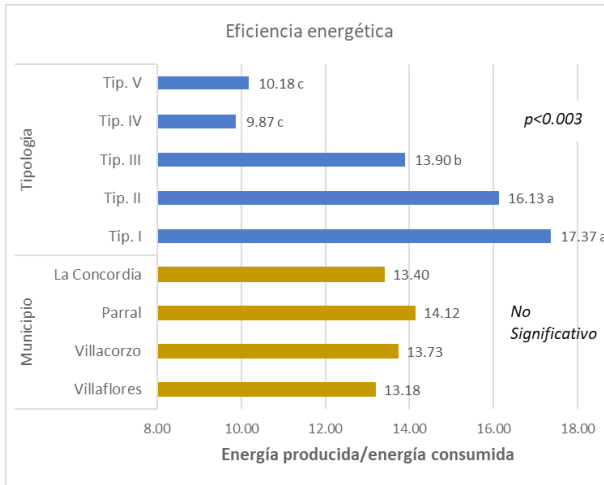


Figura 4. Indicadores de eficiencia energética de productores de maíz en cuatro municipios de la Frailesca, Chiapas.

Figure 4. Energy efficiency indicators for corn producers, in four municipalities of La Frailesca, Chiapas.

En ese sentido, respecto a la producción en grano, el grupo de productores menos eficiente fue el II con 2,8 t.ha⁻¹, mientras que el resto produjo entre 3,8 y 4,0 t.ha⁻¹. Sin embargo, estos rendimientos superan a lo reportado para Chiapas (1,9 t.ha⁻¹) y de 3,24 t.h⁻¹ para la región Frailesca, a la que pertenecen los cuatro municipios estudiados (SIAP, 2018), donde además el 70 % de los productores son clasificados como de subsistencia, y poseen una parcela menor de 2,1 ha (ASICH, 2007).

with the conventional management system, La Concordia with the mixed system and again Villaflores with the agroecological management system.

The conventional management system is characterized by the high use of agrochemicals to produce corn, it also has flat land for mechanization; Therefore, in the long term, it presents problems of degradation of the soil resource, which causes a loss in the productive capacity of the agroecosystem. According to Gliessman *et al.* (2007), the conventional production model

Las formas de producción

La tipología de productores asociada a las formas de manejo del agroecosistema maíz por municipio, permitió visualizar la integración de la tecnología empleada en la producción con respecto a la zona geográfica (Figura 5). El análisis de correspondencia múltiple mostró asociaciones estadísticas significativas entre estas variables. Las formas de manejo se asocian de la siguiente manera: el sistema agroecológico con el grupo II, el sistema mixto al grupo IV y el sistema convencional a los grupos I, III y V. Sin embargo, en el análisis municipal, se observa que Villaflores, Villa Corzo y El Parral se asocian al sistema de manejo convencional, La Concordia al sistema mixto y nuevamente Villaflores al sistema de manejo agroecológico.

El sistema de manejo convencional, se caracteriza por el uso elevado de agroquímicos para producir maíz, además cuenta con terrenos planos para la mecanización; por ello, a largo plazo presenta problemas de degradación del recurso suelo, lo que provoca pérdida en la capacidad productiva del agroecosistema. Según Gliessman *et al.* (2007) el modelo convencional de producción ha ocasionado problemas al suelo debido a la presión permanente, degradación constante y no utilización de prácticas para contrarrestar los efectos de largo plazo.

El sistema de manejo mixto presenta niveles altos de flujos económicos y consumo energético, porque la producción se vende en elote y no en grano como los otros grupos.

has caused problems to the soil due to permanent pressure, constant degradation and the non-use of practices to counteract the long-term effects.

The mixed management system presents high levels of economic flows and energy consumption, because the production is sold in corn and not the grain like the other groups. In addition, they carry out two or more corn sowings during the year, they are irrigated and do not depend on the rains. In this sense, Pimentel (2005) indicates that the increase or decrease in corn production is mainly due to the high economic costs of production, dependence on non-renewable energy resources, the degradation of the natural resources of the agroecosystem and the low stability crop yield.

The agroecological management system is associated with the municipality of Villaflores and is characterized by good energy efficiency and marketing projection. The cultivated areas are greater than 4 ha per producer. These conditions favor the development of the corn crop and increase its yield. In the short and medium term, the forms of mixed and agroecological management are considered less productive; However, in the long term, they become sustainable with the implementation of agroecological practices (Espinosa *et al.*, 2011). Along these lines, Aguilar-Jiménez *et al.* (2011) indicate that in the long term, the corn agroecosystem under agroecological management presents greater sustainability compared to conventional forms of management.

Además de que realizan dos o más siembras de maíz durante el año, cuentan con riego y no dependen de las lluvias. En este sentido, Pimentel (2005) indica que el incremento o disminución de la producción de maíz se debe principalmente a los altos costos económicos de producción, la dependencia de recursos energéticos no renovables, la degradación de los recursos naturales del agroecosistema y la poca estabilidad del rendimiento de los cultivos.

Conclusions

In the municipalities of Villaflores, Villa Corzo, El Parral and La Concordia, five types of corn producers were identified, which are differentiated on the basis of six components that explained 83 % of the total variance, among which the following stand out: *Yield and Efficiency*; the *Corn Profile* in the production system in general and the *Energy Consumption*.

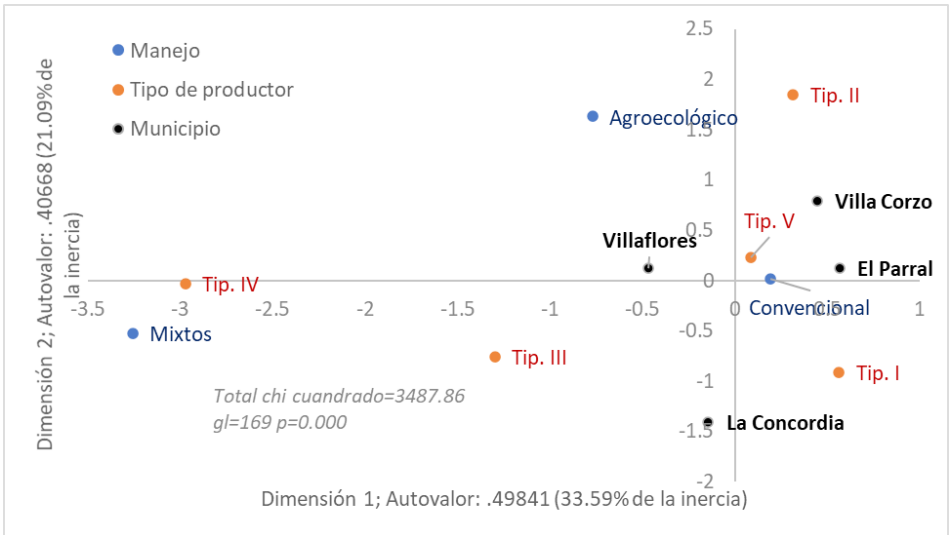


Figura 5. Asociaciones entre la tipología definida y las formas de producción en cuatro municipios de la Frailesca, Chiapas.

Figure 5. Associations between the defined typology and the forms of production in four municipalities of La Frailesca, Chiapas.

El sistema de manejo agroecológico se asocia al municipio de Villaflores y se caracteriza por una buena eficiencia energética y proyección en la comercialización. Las áreas cultivadas son superiores a 4 ha por productor. Estas condiciones

The types of producers found are characterized by having small areas for sowing corn, but have high yields and direct marketing with the buyer. The grain yields in all identified typologies are above the average for the state of Chiapas and are efficient

favorecen el desarrollo del cultivo de maíz e incrementan su rendimiento. En el corto y mediano plazo, las formas de manejo mixto y agroecológico son consideradas menos productivas; sin embargo, en el largo plazo, se hacen sustentables con la implementación de prácticas agroecológicas (Espinosa *et al.*, 2011). En ese tenor, Aguilar-Jiménez *et al.* (2011) indican que, en el largo plazo, el agroecosistema maíz bajo un manejo agroecológico presenta mayor sustentabilidad respecto a las formas de manejo convencionales.

Conclusiones

En los municipios de Villaflores, Villa Corzo, El Parral y La Concordia se identificaron cinco tipos de productores de maíz los cuales se diferencian sobre la base de seis componentes que explicaron el 83 % de la varianza total, entre las que se destacan: el *Rendimiento y Eficiencia*; el *Perfil Maíz* en el sistema productivo en general y el *Consumo Energético*.

Las tipologías de productores encontradas se caracterizan por tener superficies pequeñas para la siembra de maíz, pero presentan altos rendimientos y una comercialización directa con el comprador. Los rendimientos de grano en todas tipologías identificadas están por encima de la media del estado de Chiapas y son eficientes desde el punto de vista energético, de acuerdo a la energía directa empleada en el agroecosistema.

Dos de los grupos identificados mostraron un perfil de productores puros de maíz, pero con escalas

from the energy point of view, according to the direct energy used in the agroecosystem.

Two of the groups identified showed a profile of pure maize producers, but with different scales. These were named as: “Small Producers” and “Major Producers”. The remaining three groups received the following labels: “Mixed livestock-corn producers”, “Subsistence producers” and “Corn-stubble producers”.

The five groups of producers are associated with conventional, agroecological and mixed management forms characterized in the region. The management of conventional agriculture predominates in 86 % of the systems studied, associated with groups I, III and V.

Acknowledgments

This article is part of the first author’s doctoral thesis project and is titled “The sustainability of the corn agroecosystem (*Zea mays* L.) in the Frailesca region, Chiapas. Mexico”. We are grateful to the Autonomous University of Chiapas, for the support and the opportunity to carry out the doctoral studies, to the Program for Teacher Professional Development (PRODEP) for the scholarship granted and to all the producers who provided valuable information for the development of this research.

End of English Version

diferentes. Estos se nombraron como: “Productores pequeños” y “Productores mayores”. Los restantes tres grupos recibieron las siguientes etiquetas: “Productores mixtos ganadería-maíz”, “Productores de subsistencia” y “Productores maíz-rastrojo”.

Los cinco grupos de productores están asociados a formas de manejo convencional, agroecológica y mixtas caracterizadas en la región. Predomina el manejo de agricultura convencional en el 86% de los sistemas estudiados, asociado a los grupos I, III y V.

Agradecimientos

Este artículo forma parte del proyecto de tesis doctoral del primer autor y es titulada “La sustentabilidad del agroecosistema maíz (*Zea mays* L.) en la región Frailesca, Chiapas, México”. Se agradece a la Universidad Autónoma de Chiapas, por el apoyo y la oportunidad de realizar los estudios doctorales, al Programa para el Desarrollo Profesional Docente (PRODEP) por la beca otorgada y a todos los productores que proporcionaron información valiosa para el desarrollo de la presente investigación.

Literatura citada

Aguilar-Jiménez, C. E., B. A. Tolón y B. X. Lastra. 2011. Evaluación integrada de la sostenibilidad ambiental, económica y social del cultivo de maíz en Chiapas, México. Revista de la Facultad de Ciencias Agropecuarias UNCUYO. Tomo 43, Año 1. pp. 155-174.

Agencia de Servicios Informativos de Chiapas (ASICH). 2007. Producción de maíz en Chiapas. Agencia de servicios Informativos de Chiapas.

Altieri, M. A. 2002. Agroecología: principios y estrategias para diseñar sistemas agrarios sustentables. En: SARANDON, SJ Agroecología: el camino hacia una agricultura sustentable. Buenos Aires-La Plata, Pp: 49-56. Disponible en: <http://agroeco.org/wp-content/uploads/2010/10/cap2-Altieri.pdf>

Chambers, R. 1993. Challenging the professions. Frontiers for rural development. IT Publications, London. Pp. 35-70.

Delgado-Ruiz, F., F. Guevara-Hernández y R. Acosta-Roca. 2018. Criterios campesinos para la selección de maíz (*Zea mays* L.) en Villaflores y Villa Corzo, Chiapas, México. Ciencia UAT. 13(1):123-134. DOI: <https://doi.org/10.29059/cienciauat.v13i1.985>.

Delgado, R. F. 2017. Evaluación energética y económica del sistema de producción de maíz (*Zea mays* L.) bajo prácticas convencionales y de conservación en la región Frailesca. Tesis de Maestría. Facultad Ciencias Agronómicas de la Universidad Autónoma de Chiapas. Villaflores, Chiapas. México. 83 p. Disponible en: https://www.academia.edu/44081433/Evaluaci%C3%B3n_energ%C3%A9tica_y_econ%C3%B3mica_del_sistema_de_producci%C3%B3n_de_ma%C3%ADz_Zea_mays_L_bajo_pr%C3%A1cticas_convencionales_y_de_conservaci%C3%B3n_en_la_regi%C3%B3n_Frailesca_Chiapas. Fecha de consulta: Noviembre, 2019.

Escobar, G. y J.A. Berdegú. 1990. Conceptos y metodología para la tipificación de sistemas de finca. En: Escobar, G. and Berdegú, J.A. (Eds.). Tipificación de Sistemas de Producción Agrícola. RIMISP, Santiago. Pp. 11-63. Disponible en: <https://idl-bnc-idrc.dspacedirect.org/bitstream/andle/10625/3969/49675.pdf?sequence=1>. Fecha de Consulta: Noviembre, 2018.

Espinosa, J.A., L.A. Ríos, M. Zapata. 2011. Los diseños agroecológicos: una herramienta para la planeación agrícola sostenible. Medellín: Universidad de Antioquia. Medellín. 71 p. Disponible en: <https://biblioteca.ihatuey.cu/link/libros/>

sistemas_agroforestales/disenos_agroecologicos.pdf. Fecha de consulta: Diciembre, 2019.

- Funes, M. F, J. Suarez, D. Blanco, F. Reyes, L. Cepero, J.L. Rivero, E. Rodriguez, V. Savran, Y. del Valle, M. Cala, M. Vigil, , J.A. Sotolongo, , S. Boillat, , J.E. Sánchez, 2011. Evaluación inicial de sistemas integrados para la producción de alimentos y energía en Cuba. *Pastos y Forrajes*. 34(4):445-462.
- Funes, M. F. 2009. Agricultura con futuro, la alternativa agroecológica para Cuba. Estación Experimental Indio Hatuey. ISBN 9789597138020. Universidad de Matanzas. 176 p. Disponible en: <https://isbn.cloud/en/9789597138020/agricultura-con-futuro/>. Fecha de consulta: Enero, 2019.
- Gliessman, S.R., M.F.J. Rosado, Z.C. Guadarrama, J. Jedlicka, A. Cohn, V.E. Mendez, R. Cohen, L. Trujillo, C. Bacon y R. Jaffe. 2007. Agroecología: promoviendo una transición hacia la sostenibilidad. *Ecosistemas*. 16 (1). Pp. 13-23.
- Guevara, H. F., R. F. Delgado, L. M. Arias, L. L. Rodríguez, P. R. Ortiz, R. J. A. Delgado, V. J. A. Venegas y R. R. Pinto. 2018. Comparative energy-economic analysis of the maize agroecosystem under conventional and conservation practices in the Frailesca region, Chiapas. Mexico. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)*. 35:343-364. Caracas, Venezuela.
- Guevara-Hernández, F. 2007. “¿Y después qué?: Action-research and ethnography on governance, actors and development in Southern Mexico”. Technology and Agrarian Development Group. Department of Social Sciences. Wageningen University and Research Centre. Wageningen, The Netherlands. 223 p. Disponible en: https://www.academia.edu/39061800/Y_despu%C3%A9s_qu%C3%A9_A9_Action_research_and_ethnography_on_governance_actors_and_development_in_Southern_Mexico. Fecha de consulta: Enero 2019.
- Hagmann, J. 1999. Learning together for change: facilitating innovation in natural resource management through learning process approaches in rural livelihoods in Zimbabwe. MargrafVerlag. Weirkershein, Germany. 310 p. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/307632899_Learning_together_for_Participatory_Extension_A_Guide_to_an_Approach_Developed_in_Zimbabwe//57cdced508ae582e06923c97/download. Fecha de consulta: Enero, 2019.
- Hellin, J., O. Erenstein, T. Beuchelt, C., Camacho and D. Flores, 2013. Maize stover use and sustainable crop production in mixed crop-livestock systems in Mexico. *Field Crops Res*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fcr.2013.05.014>.
- IDAE (Instituto para la diversificación y ahorro de la energía, ahorro y eficiencia energética con agricultura de conservación). 2009. Ahorro y eficiencia energética en la agricultura. No. 12. Gobierno de España. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. 56 p. Disponible en: https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_10995_Agr12_Agric_conservacion_A2009_1ef06e4a.pdf. Fecha de consulta: Diciembre, 2018.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 2018. Dirección General de Estadísticas Económicas. México. IX Censo Agrícola, Ganadero y Forestal. Panorama agropecuario en Chiapas Censo Agropecuario 2014-2018. Fecha de consulta: Enero, 2019.
- López, B. W., R. Reynoso, B. Villar, R. Camas y J. O. García. 2018. Diagnóstico de la compactación en suelos cultivados con maíz en la región Frailesca, Chiapas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. Volumen 9 (1). Texcoco, Estado de México. Pp. 897-910.
- López, B. W., R. Reynoso, B. Villar, R. Camas y J. O. García. 2019. Caracterización físico-química de suelos cultivados con maíz en Villaflores, Chiapas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. Volumen 10 (4): 897-910. DOI: <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i4.1764>
- Mandal, K. G., K. P. Saha, K.M. Ghost, K. M. Hati, K. K. Bandyopadhyay. 2002.





- Bioenergy and economic analysis of soybean-based crop production systems in central India. *Biomass and Energy* 23:337-345.
- Masera, O., M. Astier. 1995. Energía y sistema alimentario en México: Aportaciones de la agricultura alternativa, en *Agroecología y Desarrollo Agrícola en México*, Universidad Autónoma Metropolitana, Xochimilco, México D. F.
- Méndez-Cortés, V., J. S. Mora-Flores, J. A. García-Salazar, O. Hernández-Mendo, R. García-Mata, y R. C. García-Sánchez. 2019. Tipología de productores de ganado bovino en la zona norte de Veracruz. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 22 (2019): 305-314.
- Ocaña, J. M. 2015. Estudio socioeconómico y ambiental del uso y manejo del rastrojo en los sistemas maiz-ganadería en la región Frailesca, Chiapas. Tesis de maestría. Universidad Autónoma de Chiapas. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. 110 p. Disponible en: https://www.academia.edu/44081414/Estudio_socioecon%C3%B3mico_y_ambiental_del_uso_y_manejo_del_rastrojo_en_los_sistemas_maiz_ganader%C3%ADz_ganader%C3%ADa_en_la_regi%C3%B3n_Frailesca_Chiapas. Fecha de consulta: Enero, 2019.
- Perales, H. R., B. F. Benz, S. B. Brush. 2005. Maize diversity and ethnolinguistic diversity in Chiapas, Mexico. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 102, 949-954.
- Pimentel D. 2005. Environmental and economic costs of the application of pesticides primarily in the United States. *Env. Dev. Sust.* 7: 229-252.
- Pimentel, D. 1980. *Handbook of Energy Utilization in Agriculture*. CRC Press, Boca Ratón, FL. SP. Pp. 51-90.
- Purroy-Vázquez, R.; E. Ortega-Vargas, Q. Hernández-Santiago, O. Del Ángel-Piña, J. Meza-Hernández, B. Reyes-Santiago, F. Nicolás-Vicente. 2019. Maize small-scale agroecosystems in the high Huasteca region of Veracruz: Economic-energetic efficiency and poverty. *Agric. Soc. Desarro (On line)*. 16 (1). Pp.105-121.
- Purroy V., F. Gallardo, P. Díaz, E. Ortega, S. López y G. Torres. 2016. Energetic-economic flow as a tool to typify agroecosystems in the center of the state of Veracruz, Mexico. *Ecosistemas y recursos agropecuarios* 3(7):91-101.
- Rodríguez, L. y F. Guevara. 2009. *Innovación y Desarrollo Rural: Reflexiones y experiencias desde el contexto cubano*. 1a edición (Versión Digital). ACSUR-Las Segovias/IIA Jorge Dimitrov. Madrid, España. 174 p. https://www.academia.edu/44081348/Innovaci%C3%B3n_y_Desarrollo_Rural_Experiencias_y_reflexiones_desde_el_contexto_Cubano. Fecha de consulta: Diciembre, 2018.
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 2017. *Maíz grano blanco y Amarillo Mexicano*. Planeación Agrícola Nacional 2017-2030. Ciudad de México. 36 p. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/256429/B_sico-Ma_z_Grano_Blanco_y_Amarillo.pdf. Fecha de consulta: Enero, 2019.
- Sánchez, M. P., F. I. Ocampo, I. F. Parra, E. J. Sánchez, R. A. María y M. A. Argumedo. 2014. Evaluación de la sustentabilidad del agroecosistema maíz en la región de Huamantla, Tlaxcala, México. *Agroecología* 9: 111-122.
- Scheaffer, R., W. Mendenhall y L. Otto. 2004. *Elementos de muestreos*, grupo Editorial Iberoamericana, México. p. 15. https://issuu.com/hectorm.delossantos-posadas/docs/elementos_de_muestreo_-_schaffer_et. Fecha de consulta: febrero 2018.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2018. *Atlas agroalimentario (SAGARPA)*. Ciudad de México. Disponible en: <http://www.siap.gob.mx/> Fecha de consulta: Enero, 2019.
- StatSoft, Inc. 2007. *STATISTICA (Data analysis software system)*, versión 8.0. Boston, USA. Disponible en: <https://statistica.software.informer.com/8.0/>.
- Toledo, M. V. 2015. ¿De qué hablamos cuando hablamos de sustentabilidad? Una propuesta ecológico política. *Interdisciplina* 3 (7): 35-55.

Fitorremediación de aguas contaminadas con arsénico mediante islas flotantes artificiales: revisión bibliográfica

Phytoremediation of arsenic-contaminated waters by artificial floating island: literature review

Fitorremediação de águas contaminadas com arsênico usando ilhas flutuantes artificiais: revisão bibliográfica

Kalina Marcela Fonseca Largo^{1*}, Joseline Luisa Ruiz Depablos²,
Edgar Fabián Espitia Sarmiento³, Edward Alexander
Campana Pallasco⁴ y Evelyn Liseth Moreno Chicaiza⁵

¹Docente - Investigadora. Coordinador del grupo de investigación: Manejo del Recursos Hídricos, Universidad Técnica de Cotopaxi. Ecuador. Correo electrónico: kalina.fonseca@utc.edu.ec, . ²Investigadora. Universidad Técnica de Cotopaxi, Ecuador. Correo electrónico: joseline.ruiz9062@utc.edu.ec, . ³Director de la carrera de Ingeniería en Ciencias del Agua. Universidad Regional Amazónica Ikiam. Ecuador. Correo electrónico: edgar.espitia@ikiam.edu.ec, ⁴Egresado de la carrera de Ingeniería en Medio Ambiente de la Universidad Técnica de Cotopaxi. Correo electrónico: edward.campana6650@utc.edu.ec, . ⁵Egresada de la carrera de Ingeniería en Medio Ambiente de la Universidad Técnica de Cotopaxi. Correo electrónico: evelyn.moreno6511@utc.edu.ec, .

Resumen

El agua es el principal medio a través del cual el arsénico (As) ingresa al cuerpo humano causando daños irreversibles a la salud como envenenamiento, lesiones cutáneas y varios tipos de cánceres. Una estrategia para abordar la contaminación de As en ecosistemas acuáticos, son las islas flotantes artificiales (IFA) usando pasto Vetiver (*Chrysopogon zizanioides*). El objetivo de este estudio fue revisar 45 publicaciones sobre los fundamentos de construcción, implementación, descripción de mecanismos de descontaminación, caracterización de la especie macrófita y disposición final del material vegetal. También, se revisaron algunos modelos matemáticos que pueden ser aplicados para cuantificar las tasas de remoción

Recibido el 27-02-2020 • Aceptado el 11-10-2020.

*Autor de correspondencia. Correo electrónico: kalina.fonseca@utc.edu.ec

y eficiencia del sistema. Con base en la literatura revisada, se concluye que el pasto Vetiver es una alternativa eficaz en la remoción de As y su efecto puede ser amplificado al implementar un lecho flotante artificial. La importancia de esta relativamente nueva ecotecnología requiere que se continúen las investigaciones en el área.

Palabras claves: remoción, Vetiver, ecotecnología, material vegetal, lecho flotante.

Abstract

Water is the main way arsenic (As) can get into the human body causing irreversible health damage such as poisoning, skin lesions and various types of cancer. One strategy for addressing pollution of arsenic in aquatic ecosystems is artificial floating islands (IFA) using Vetiver grass (*Chrysopogon zizanioides*). The objective of this study was to review 45 publications on the fundamentals of construction, implementation, description of decontamination mechanisms, characterization of macrophyte species and final disposal of plant material. Also, some mathematical models that can be applied to quantify removal rates and system efficiency were reviewed. Based on the literature reviewed, it is concluded that Vetiver grass is an effective alternative in removing As and its effect can be amplified by implementing an artificial floating bed. The importance of this relatively new ecotechnology requires further research in the field.

Keywords: removal, Vetiver, ecotechnology, plant material, artificial floating bed.

Resumo

A água é o principal meio através do qual o arsênico (As) entra no corpo humano, causando danos irreversíveis à saúde, como envenenamentos, lesões na pele e vários tipos de câncer. Uma estratégia para lidar com a contaminação de arsênio em ecossistemas aquáticos são as ilhas flutuantes artificiais (IFA) usando o capim Vetiver (*Chrysopogon zizanioides*). O objetivo deste estudo foi revisar as publicações 45 sobre os fundamentos da construção, implementação, descrição dos mecanismos de descontaminação, caracterização das espécies de macrófitas e disposição final do material vegetal. Além disso, foram revisados alguns modelos matemáticos que podem ser aplicados para quantificar as taxas de remoção e a eficiência do sistema. Com base na literatura revisada, conclui-se que a grama Vetiver é uma alternativa eficaz na remoção de As e seu efeito pode ser amplificado através da implementação de um leito flutuante artificial. A importância desta tecnologia ecológica relativamente nova exige que se prossiga a investigação na área.

Palavras-chave: remoção, Vetiver, tecnologia ecológica, material vegetal, leito flutuante.

Introducción

La presencia de elevadas concentraciones de arsénico (As) en la hidrósfera, litósfera y atmósfera, es ocasionada por procesos naturales y antropogénicos (Shukla y Srivastava, 2017; Dinwiddie y Liu, 2018; Pincetti-Zúniga *et al.*, 2020). La principal actividad humana que genera altos niveles de As en los ecosistemas es la pirometalurgia de minerales no ferrosos (Cu, Pb, Zn, Ni, Sn) (Li *et al.*, 2020; Rong *et al.*, 2020), que genera efluentes con As y ácido sulfúrico (H_2SO_4). Además, el uso de pesticidas y herbicidas compuestos de metilados como el ácido monometilarsónico (MMA), ácido dimetilarsínico (DMA), el óxido de trimetilarsina (TMAO) (Shukla y Srivastava, 2017) y fertilizantes químicos generan As que son dispuestos en el suelo y agua (He *et al.*, 2020). Como fuente de contaminación natural, el As surge por procesos naturales como meteorización, actividad biológica y emisiones volcánicas (Reddy y DeLaune, 2008; Morales-Simfors *et al.*, 2019).

La toxicidad del As se relaciona con su solubilidad (Rong *et al.*, 2020), por esa razón, los humanos están expuestos principalmente por la presencia en alimentos y agua (Shukla y Srivastava, 2017; Pincetti-Zúniga *et al.*, 2020). La ingestión de As inorgánico a través del agua puede tener efectos adversos para la salud. La Organización Mundial de la Salud (OMS) ha establecido como valor de referencia de $10 \mu g.L^{-1}$, pero muchos países aún no han adoptado esta

Introduction

The presence of high concentrations of arsenic (As) in the hydrosphere, lithosphere and atmosphere is caused by natural and anthropogenic processes (Shukla and Srivastava, 2017; Dinwiddie and Liu, 2018; Pincetti-Zúniga *et al.*, 2020). The main human activity that generates high levels of As in ecosystems is the pyrometallurgy of non-ferrous minerals (Cu, Pb, Zn, Ni, Sn) (Li *et al.*, 2020; Rong *et al.*, 2020), which generates effluents with As and sulfuric acid (H_2SO_4). In addition, the use of pesticides and herbicides composed of methylates such as monomethylarsonic acid (MMA), dimethylarsinic acid (DMA), trimethylarsine oxide (TMAO) (Shukla and Srivastava, 2017) and chemical fertilizers generate As that are disposed in the soil and water (He *et al.*, 2020). As a source of natural pollution, As arises from natural processes such as weathering, biological activity, and volcanic emissions (Reddy and DeLaune, 2008; Morales-Simfors *et al.*, 2019).

The toxicity of As is related to its solubility (Rong *et al.*, 2020), for that reason, humans are exposed mainly by its presence in food and water (Shukla and Srivastava, 2017; Pincetti-Zúniga *et al.*, 2020). Ingestion of inorganic As through water can have adverse health effects. The World Health Organization (WHO) has established a reference value of $10 \mu g.L^{-1}$, but many countries have not yet adopted this standard in their legislation (Ning, 2005). At the global

norma en su legislación (Ning, 2005). A nivel mundial, se han propuesto varios métodos tradicionales para la eliminación de As (Zhao *et al.*, 2010) particularmente inorgánico arsenic (Asi, sin embargo, los costos de estas tecnologías dificultan su aplicación en países en vía de desarrollo. Por otra parte, existen métodos de biorremediación, que a diferencia de los métodos físicoquímicos son adecuados para extensas áreas contaminadas, requieren bajos costos de instalación y mantenimiento (Pilon-Smits, 2005). El costo total estimado de biorremediación puede llegar hasta el 5 % de otros métodos tradicionales disponibles (Prasad, 2003). El éxito de la biorremediación, en el caso de la fitorremediación, depende de las especies vegetales utilizadas en los sistemas de depuración. En las últimas décadas, varios estudios sobre las características fisiológicas del pasto Vetiver (*Chrysopogon zizanioides* (L.) Roberty) han demostrado que es un excelente candidato para ser aplicado en un amplio rango de necesidades de fitoremediación (Shu y Xia, 2003) which frequently contain excessive concentrations of heavy metals. (IVT. A través de diversos mecanismos, *C. zizanioides* es capaz de adaptarse a las condiciones de los humedales y acumular metales pesados en las raíces (Siyar *et al.*, 2020) y translocar mínimas cantidades a los brotes (Wang *et al.*, 2010).

La remoción de metales pesados con este pasto proporciona un tratamiento eficaz; sin embargo, su efecto puede ser amplificado al implementar un

level, several traditional methods have been proposed for the removal of As (Zhao *et al.*, 2010), however, the costs of these technologies make it difficult to apply them in developing countries. On the other hand, there are bioremediation methods, which unlike physicochemical methods are suitable for large contaminated areas, require low installation and maintenance costs (Pilon-Smits, 2005). The total estimated cost of bioremediation can be up to 5 % of other available traditional methods (Prasad, 2003). The success of bioremediation, in the case of phytoremediation, depends on the plant species used in the purification systems. In the last decades, several studies on the physiological characteristics of Vetiver grass (*Chrysopogon zizanioides* (L.) Roberty) have shown that it is an excellent candidate to be applied in a wide range of phytoremediation needs (Shu and Xia, 2003). Through various mechanisms, *C. zizanioides* is able to adapt to wetland conditions and accumulate heavy metals in the roots (Siyar *et al.*, 2020) and translocate minute amounts to the shoots (Wang *et al.*, 2010).

The removal of heavy metals with this grass provides an effective treatment; however, its effect can be amplified by implementing an artificial floating bed (Samal, 2019). Artificial floating islands (IFA), also known as floating wetlands, restore polluted aquatic ecosystems with a good cost-efficiency ratio. The use of this ecotechnology is a promising strategy for the removal of As (Ismail *et al.*, 2014; Smolcz *et al.*, 2015; Lara

lecho flotante artificial (Samal, 2019). Las islas flotantes artificiales (IFA) conocidas también como humedales flotantes, restauran ecosistemas acuáticos contaminados con una buena relación costo-eficiencia. El uso de esta ecotecnología, es una estrategia prometedora para la remoción de As (Ismail *et al.*, 2014; Smolcz *et al.*, 2015; Lara y Navarro, 2017; Singh, 2017; Colares *et al.*, 2020) La presente revisión plantea los fundamentos de la construcción, implementación, descripción de los mecanismos de descontaminación, caracterización de la especie macrófita, disposición final de los residuos vegetales y los modelos matemáticos para analizar procesos de biosorción de As con pasto Vetiver

Métodos

La mayoría de los estudios referentes a las IFA se publicaron en inglés (98,9 %) y los dos países que presentan el mayor número de investigaciones son Estados Unidos de América (EE.UU.) y China, que en conjunto representan más del 52 % de todas las publicaciones divulgadas desde 1992 hasta el 2019 (Colares *et al.*, 2020) En esta revisión bibliográfica se procedió a la búsqueda de artículos científicos en las principales bases de datos en el área de fitorremediación de agua contaminada con arsénico. Las bases de datos utilizadas fueron: Scopus, ScienceDirect, SpringerLink, SciELO (Scientific Electronic Library Online) y Web of Science. En la estrategia de indagación se utilizaron combinaciones de los siguientes términos:

and Navarro, 2017; Singh, 2017; Colares *et al.*, 2020). The present review raises the fundamentals of the construction, implementation, description of the decontamination mechanisms, characterization of the macrophyte species, final disposal of plant residues and mathematical models to analyze biosorption processes of As with Vetiver grass.

Methods

Most of the studies referring to IFA were published in English (98.9 %) and the two countries with the highest number of investigations are the United States of America (USA) and China, which together represent more than 52 % of all publications released from 1992 to 2019 (Colares *et al.*, 2020). In this review, we proceeded to search for scientific articles in the main databases in the area of phytoremediation of water contaminated with arsenic. The databases used were: Scopus, ScienceDirect, SpringerLink, SciELO (Scientific Electronic Library Online) and Web of Science. In the research strategy, combinations of the following terms were used: floating treatment wetlands, *C. zizanioides*, ecotechnology, water quality improvement, artificial floating islands, heavy metal removal from bodies of water, removing arsenic, phytoremediation polluted water arsenic, mathematical models arsenic removal.

Those articles published between the years 2000 and 2020 that included studies on the phytoremediation capacity of Vetiver grass in water

Se seleccionaron aquellos artículos publicados entre los años 2000 y 2020 que incluyeran estudios sobre la capacidad fitorremedadora del pasto Vetiver en agua contaminada con As y los relacionados con islas flotantes artificiales. Por otro lado, la literatura que no contaba con experimentos específicos, validaciones e indexación en revistas científicas, no se incluyeron. La búsqueda de documentos incluyó el idioma inglés y español. Los artículos elegidos inicialmente para el estudio fueron 97; de ellos se eliminaron 54 porque no cumplían con los criterios establecidos, seleccionando definitivamente para revisión bibliográfica un total de 43.

Discusión

El arsénico en ecosistemas acuáticos

El As es el vigésimo elemento más abundante en la corteza terrestre (Zhao *et al.*, 2010) particularly inorganic arsenic (As_i, es tóxico para los seres humanos principalmente por su consumo en el agua (Mondal *et al.*, 2006). Sus estados de oxidación varían (+5), (+3), (0) y (-3) y son los más comunes en el agua (Mondal *et al.*, 2006); coexistiendo en la naturaleza con Fe, Cu, Ni, Zn, etc. Reddy y DeLaune (2008) indican que en general, las formas inorgánicas de As son más tóxicas que las formas orgánicas y que el ión arsenito es más tóxico que el arseniato, también señalan que en ambientes acuáticos aeróbicos el As predomina como ión arseniato As (V) en la forma $[H_3AsO_4, H_2AsO_4^{-1}, HAsO_4^{-2}, AsO_4^{-3}]$ mientras que el ión arsenito As (III) como $[H_3AsO_3, H_2AsO_3^{-1}]$ es más

contaminated with As and those related to artificial floating islands, were selected. On the other hand, the literature that did not have specific experiments, validations and indexing in scientific journals, were not included. The document search included the English and Spanish languages. The articles initially chosen for the study were 97; 54 of them were eliminated because they did not meet the established criteria, definitively selecting a total of 43 for bibliographic review.

Discussion

Arsenic in aquatic ecosystems

As is the twentieth most abundant element in the earth's crust (Zhao *et al.*, 2010), it is toxic to humans mainly due to its consumption in water (Mondal *et al.*, 2006). Their oxidation states vary (+5), (+3), (0) and (-3) and are the most common in water (Mondal *et al.*, 2006); coexisting in nature with Fe, Cu, Ni, Zn, etc. Reddy and DeLaune (2008) indicate that in general, inorganic forms of As are more toxic than organic forms and that the arsenite ion is more toxic than arsenate, they also point out that in aerobic aqueous environments, As predominates as arsenate ion As (V) in the form $[H_3AsO_4, H_2AsO_4^{-1}, HAsO_4^{-2}, AsO_4^{-3}]$ while the arsenite ion As (III) as $[H_3AsO_3, H_2AsO_3^{-1}]$ is more frequent in anoxic environments. Although As is abundant in both terrestrial and aquatic environments, its presence in groundwater has received much attention due to its high concentrations (Ning, 2005). In areas such as the Bengal basin,

frecuente en ambientes anóxicos. Aunque el As abunda tanto en ambientes terrestres como acuáticos, su presencia en aguas subterráneas, ha recibido mucha atención, por las altas concentraciones (Ning, 2005). En zonas como la cuenca de Bengala, Tailandia, Italia, Argentina, Bolivia, Chile, México y Perú, se ha reportado niveles alarmantes de As de hasta 50 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ en las fuentes de agua utilizadas para consumo (Ning, 2005; Mondal *et al.*, 2006; Bundschuh *et al.*, 2008).

Presencia de arsénico en sedimentos

Según Reddy y DeLaune (2008), los metales pesados tóxicos en los suelos o sedimentos de humedales existen en varias formas y pueden sufrir numerosos procesos de transporte y transformación cuando ingresan a los humedales; la contribución anual de As al suelo es pequeña, pero se ha agregado una cantidad significativa a la columna sedimentaria durante el tiempo geológico. Estudios realizados sobre la concentración de de As en suelos indican que estos pueden alcanzar hasta 62,20 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ y se rigen principalmente por las características geológicas del mismo (Zuzolo *et al.*, 2020).

En los suelos de humedales, la cantidad de materia orgánica, minerales, pH y potencial redox rigen la solubilidad y movilidad del As. Para ciertas condiciones de potencial redox y pH, puede estar presente como un oxianión en la forma de arseniato o arsenito. A potenciales redox altos (desde +200 a +500 mV), el As (V) es la especie predominante mientras que, la reducción de As (V) a As (III)

Thailand, Italy, Argentina, Bolivia, Chile, Mexico and Peru, alarming levels of As of up to 50 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ have been reported in water sources used for consumption (Ning, 2005; Mondal *et al.*, 2006; Bundschuh *et al.*, 2008).

Presence of arsenic in sediments

According to Reddy and DeLaune (2008), toxic heavy metals in wetland soils or sediments exist in various forms and can undergo numerous transport and transformation processes when they enter wetlands; the annual contribution of As to the soil is small, but a significant amount has been added to the sedimentary column during geologic time. Studies carried out on the concentration of As in soils indicate that these can reach up to 62.20 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ and are mainly governed by its geological characteristics (Zuzolo *et al.*, 2020)

In wetland soils, the amount of organic matter, minerals, pH, and redox potential govern the solubility and mobility of As. For certain pH and redox potential conditions, it may be present as an oxyanion in the form of arsenate or arsenite. At high redox potentials (from +200 to +500 mV), As (V) is the predominant species, while the reduction of As (V) to As (III) occurs at redox levels within the nitrate reduction zone (+300 mV) (Reddy and DeLaune, 2008).

Phytoremediation as an alternative to remove arsenic

There are several methods for the removal of As within which are: use of adsorbents, chemicals, photochemicals and photocatalytic, oxidation processes, coagulation,

ocurre a niveles redox dentro de la zona de reducción de nitratos (+300 mV) (Reddy y DeLaune, 2008).

La fitorremediación como alternativa para remover arsénico

Existen varios métodos para la eliminación de As dentro de los cuales se encuentran: uso de adsorbentes, químicos, fotoquímicos y fotocatalíticos, procesos de oxidación, coagulación, floculación, precipitación, intercambio iónico y filtración por membrana, sin embargo, los altos costos de estas tecnologías las hacen prácticamente imposibles de aplicar en países en vía de desarrollo. Por otro lado, la fitorremediación demuestra ventajas con respecto a los procesos tradicionales, ya que utiliza plantas para limpiar suelos, sedimentos y agua contaminada con metales pesados y pesticidas (Shukla y Srivastava, 2017); las plantas fitorremediadoras son monitoreadas fácilmente a fin de asegurar un crecimiento adecuado; los metales removidos por las especies vegetales en muchos casos son recuperados y reutilizados (Wang *et al.*, 2010). Los principales mecanismos de fitorremediación de metales pesados son la fitoestabilización, donde las plantas inmovilizan los contaminantes en los suelos; en la fitoextracción las especies vegetales usan alta cantidad de biomasa, son hiperacumuladoras de metales pesados; en la fitofiltración o rizofiltración, en las raíces de las plantas que crecen en agua aireada, precipitan y se concentran metales tóxicos de los efluentes contaminados y en la fitovolatilización las plantas extraen metales y los liberan en una forma menos tóxica a la atmósfera

floculation, precipitation, ion exchange and membrane filtration, however, the high costs of these technologies make them practically impossible to apply in developing countries. On the other hand, phytoremediation shows advantages over traditional processes, since it uses plants to clean soils, sediments and water contaminated with heavy metals and pesticides (Shukla and Srivastava, 2017); phytoremediation plants are easily monitored to ensure proper growth; metals removed by plant species are in many cases recovered and reused (Wang *et al.*, 2010). The main mechanisms of heavy metal phytoremediation are phytostabilization, where plants immobilize pollutants in soils; in phytoextraction, plant species use a high amount of biomass, they are hyper-accumulators of heavy metals; In phytofiltration or rhizofiltration, in the roots of plants that grow in aerated water, toxic metals are precipitated and concentrated from contaminated effluents and in phytovolatilization the plants extract metals and release them in a less toxic form into the atmosphere through transpiration (inside the plant the pollutant is transformed or degraded before being released (Raskin and Ensley, 2000).

Artificial floating islands (IFA)

The IFA called "Floating Treatment Wetlands" (FTWs) will restore aquatic ecosystems (Colares *et al.*, 2020; Yeh *et al.*, 2015), with a good cost-efficiency ratio. They are constituted by a floating support base for the growth of macrophytes and have proven to be efficient in the remediation of waters

a través de la transpiración (dentro de la planta el contaminante es transformado o degradado antes de ser liberado (Raskin y Ensley, 2000).

Islas flotantes artificiales (IFA)

Las IFA denominadas en inglés "Floating Treatment Wetlands" (FTWs) restauraran ecosistemas acuáticos (Colares *et al.*, 2020; Yeh *et al.*, 2015) con una buena relación costo-eficiencia. Están constituidas por una base flotante de soporte para el crecimiento de macrófitas y han demostrado ser eficientes en la remediación de aguas con contenidos de nutrientes, materia orgánica y sustancias tóxicas (Tharp *et al.*, 2019). La base combina una matriz porosa, permeable y resistente a la degradación ambiental con un sustrato de hebras poliméricas para la colonización microbiana (Yeh *et al.*, 2015). La flotabilidad puede estar provista por tubos de polivinilo o polipropileno sellados, láminas de poliestireno, bambú, caña, paja, cebada y almohadillas de vinilo inflables (Tanner y Headley, 2011). El medio de crecimiento de las plantas tiene que ser seleccionado con precaución para favorecer el desarrollo de las raíces de las macrofitas, así como su colonización por biopelículas. Tanner y Headley (2011) consideran conservar depresiones en la cima de la matriz polimérica, para recibir el medio de crecimiento, que puede ser arena, turba de esfagno, compost neutralizado con piedra caliza, etc. La remoción de contaminantes en las IFA se realiza por medio de diversos mecanismos, como absorción de nutrientes y metales pesados, desarrollo de

with content of nutrients, organic matter and toxic substances (Tharp *et al.*, 2019). The base combines a porous, permeable and resistant matrix to environmental degradation with a substrate of polymeric strands for microbial colonization (Yeh *et al.*, 2015). Buoyancy can be provided by sealed polyvinyl or polypropylene tubes, polystyrene sheets, bamboo, reed, straw, barley, and inflatable vinyl pads (Tanner and Headley, 2011). The growth medium of the plants has to be selected with care to favor the development of the macrophyte roots, as well as their colonization by biofilms. Tanner and Headley (2011) consider preserving depressions at the top of the polymer matrix, to receive the growth medium, which can be sand, sphagnum peat, compost neutralized with limestone, etc. The removal of pollutants in the APIs is carried out through various mechanisms, such as absorption of nutrients and heavy metals, development of biofilms (Martínez-Peña and López-Candela, 2018), release of extracellular enzymes, sedimentation and binding of pollutants, as well as an increase in the flocculation of suspended matter (Tharp *et al.*, 2019).

Phytoremedial characteristics of Vetiver grass

Vetiver grass (*C. zizanioides* (L.) Roberty) formerly classified as *Vetiveria zizanioides* (Srivastava *et al.*, 2008) is a perennial herb of the Poaceae family, native to India and widely cultivated in tropical and subtropical regions of the world (Singh, 2017). It is a species adaptable to a wide range of climatic

biopelículas (Martínez-Peña y López-Candela, 2018), liberación de enzimas extracelulares, sedimentación y unión de contaminantes, así como aumento de la floculación de materia en suspensión (Tharp *et al.*, 2019).

Características fitorremediadoras del pasto Vetiver

El pasto Vetiver (*Chrysopogon zizanioides* (L.) Roberty) anteriormente clasificado como *Vetiveria zizanioides* (Srivastava *et al.*, 2008) es una hierba perenne de la familia Poaceae, nativa de la India y ampliamente cultivada en las regiones tropicales y subtropicales del mundo (Singh, 2017). Es una especie adaptable a una extensa gama de condiciones climáticas, fácil de cultivar, no tiene potencial para convertirse en maleza y tiene gran capacidad de acumular metales pesados (Lara y Navarro, 2017). Esta xerófita tiene la capacidad de sobrevivir bajo largas inundaciones, desarrollarse en ambientes hidropónicos y adaptarse a condiciones extremas de temperatura en el rango de -22 °C a 60 °C (Truong, 2003). Los contaminantes captados por pasto Vetiver, principalmente se acumulan en las raíces y muy poco se transloca a los brotes (Singh, 2017). El As es un elemento no esencial para las plantas, interfiere con su actividad fisiológica, biológica, inhibe el crecimiento y le causa estrés considerable (Praveen *et al.*, 2019); mientras que pasto Vetiver se adapta a estas condiciones. La raíz de este pasto, es el órgano principal de entrada y acumulación de As, en la cual hay un transporte radial que se sugiere fundamentalmente es apoplástico y que encuentra un

conditions, easy to grow, has no potential to become a weed and has a great capacity to accumulate heavy metals (Lara and Navarro, 2017). This xerophyte has the ability to survive under long floods, develop in hydroponic environments and adapt to extreme temperature conditions in the range of -22 °C to 60 °C (Truong, 2003). The pollutants captured by Vetiver grass, mainly accumulate in the roots and very little is translocated to the shoots (Singh, 2017). As is a non-essential element for plants, it interferes with their physiological and biological activity, inhibits growth and causes considerable stress (Praveen *et al.*, 2019); whereas Vetiver grass adapts to these conditions. The root of this grass is the main organ of entry and accumulation of As, in which there is a radial transport that is fundamentally suggested to be apoplastic and that finds a first important diffusion and regulation filter in the endodermis (Ravenscroft *et al.*, 2009). Plants such as Vetiver grass translocate a small fraction of metals from roots to shoots through the xylem with the transpiration stream (Van der Ent *et al.*, 2013). The roots act as a barrier against heavy metal translocation and may be a potential tolerance mechanism operating in the roots. Singh *et al.* (2017), when investigating the accumulation, translocation and tolerance of As in Vetiver grass seedlings, these did not experience significant toxicity after exposure to different concentrations of As (from 0.75 ppm to 15 ppm) after 7 days;

primer filtro importante de difusión y regulación en la endodermis (Ravenscroft *et al.*, 2009). Las plantas como el pasto Vetiver translocan una pequeña fracción de metales desde las raíces a los brotes a través del xilema con la corriente de transpiración (Van der Ent *et al.*, 2013). Las raíces actúan como barrera contra la translocación de metales pesados y puede ser un mecanismo de tolerancia potencial que opera en las raíces. Singh *et al.* (2017), al investigar la acumulación, translocación y tolerancia de As en plántulas del pasto Vetiver, estas no experimentaron toxicidad significativa tras la exposición a diferentes concentraciones de As (desde 0,75 ppm hasta 15 ppm) después de 7 días; sin embargo, observan un aumento de toxicidad después de 14 días.

Islas flotantes artificiales (IFA) con pasto Vetiver

El pasto Vetiver se cultiva en cuerpos de agua contaminados, utilizando matrices flotantes, como una balsa de bambú o tubos de PVC (Roongtanakiat *et al.*, 2007). El pasto se transplanta a las matrices flotantes después de aproximadamente 3 meses de adaptación con 30 cm de raíz. Cuando se instala en el agua, se deben podar las hojas a 20-30 cm, aplicar té de estiércol u otro fertilizante al agua y mantenerlas hasta que alcancen unos 40 cm de raíz (Lara y Navarro, 2017). Después de 15 días, es posible evaluar la eficacia en la remoción de arsénico con pasto Vetiver a diferentes biomásas (5 kg, 10 kg, 15 kg, 20 kg, 25 kg) obteniendo remoción de hasta el 40% para arsénico (Smolcz *et al.*, 2015). Los parámetros: pH, turbidez,

however, they observe an increase in toxicity after 14 days.

Artificial floating islands (IFA) with Vetiver grass

Vetiver grass is grown in contaminated bodies of water, using floating matrices, such as a bamboo raft or PVC pipes (Roongtanakiat *et al.*, 2007). The grass is transplanted to the floating matrices after approximately 3 months of adaptation with 30 cm of roots. When it is installed in water, the leaves should be pruned to 20-30 cm, manure tea or other fertilizer applied to the water and kept until they reach about 40 cm from the roots (Lara and Navarro, 2017). After 15 days, it is possible to evaluate the efficiency in the removal of arsenic with Vetiver grass at different biomasses (5 kg, 10 kg, 15 kg, 20 kg, 25 kg) obtaining removal of up to 40 % for arsenic (Smolcz *et al.*, 2015). The parameters: pH, turbidity, alkalinity, OD, fecal coliforms (Mathew *et al.*, 2016), DBO₅, suspended solid DQO, color removal (Charoenlarp *et al.*, 2016) and mainly As (Singh *et al.*, 2017) in various types of effluents, they are regulated by the processes that occur at their roots. In this sense, due to their high tolerance towards various types of pollutants, the IFAs with Vetiver grass are installed in rivers to improve water quality; for example, Kusin *et al.* (2019) through the implementation of this system, verified a 14 % increase in the water quality index (WQI) in polluted rivers. The application of this technology for As shows 40 % removal efficiency under controlled conditions (Smolcz *et al.*, 2015); while in the field, the remediation efficiency varies from

alcalinidad, OD, coliformes fecales (Mathew *et al.*, 2016), DBO₅, DQO sólidos suspendidos, remoción de color (Charoenlarp *et al.*, 2016) y principalmente As (Singh *et al.*, 2017) en varios tipos de efluentes, son regulados por los procesos que ocurren en sus raíces. En este sentido, debido a su alta tolerancia hacia varios tipos de contaminantes las IFA con pasto Vetiver se instalan en ríos para mejorar la calidad de agua; por ejemplo, Kusin *et al.* (2019) resulting in 14 % increase of the overall WQI. It was proposed that treatment system performance for FVI can be reflected by the number of pontoons (FVIs mediante la implementación de este sistema, verificaron un incremento del 14 % en el índice de calidad de agua (WQI) en ríos contaminados. La aplicación de esta tecnología para As evidencia 40 % de eficiencia de remoción en condiciones controladas (Smolcz *et al.*, 2015); mientras que en campo, la eficiencia de remediación varía de 80 % en cinco días a 35 % en quince días (Lara y Navarro, 2017).

Disposición final del material vegetal

La materia vegetal usada en la fitorremediación, es el punto de atención, debido a la posible contaminación tóxica que puede acumular. Varios autores han propuesto usos posteriores de los residuos vegetales de pasto Vetiver, por ejemplo Wang *et al.* (2010), mencionan que los brotes pueden ser consumidos por animales de forma segura o cosechados ya que muy poco del As se translocan. Adicionalmente, la raíz puede ser una fuente de

80 % in five days to 35 % in fifteen days (Lara and Navarro, 2017).

Final disposal of plant material

The plant matter used in phytoremediation is the point of attention, due to the possible toxic contamination that it can accumulate. Several authors have proposed subsequent uses of Vetiver grass plant residues, for example Wang *et al.* (2010), mention that the shoots can be consumed by animals safely or harvested since very little of the As is translocated. Additionally, the root can be a source of essential oils (Roongtanakiat *et al.*, 2007). Finally, biomass can be used as fuel in a pyrolysis system to produce energy (Ladislas *et al.*, 2015).

Mathematical model for the evaluation of heavy metal removal

The mechanism of biosorption of metals using living cells, for example: Vetiver grass plant, rice, etc. It occurs in two stages: during the first stage, metal ions are adsorbed by the surface in the metal-electrophilic functional group interaction exposed to the cell exterior. In the second stage, in the active biosorption process, the selected species penetrate the cell membrane (Ismail *et al.*, 2014). The mathematical modeling of the As sorption processes in aqueous media in living cells has been studied using three groups of models: (1) Isotherm method (Langmuir sorption isotherms, Freundlich sorption isotherms, Dubinin-Radushkevich sorption isotherms R-D); (2) Thermodynamic evaluation of the processes and (3) Sorption kinetics corresponding to pseudo first and second order kinetic

aceites esenciales (Roongtanakiat *et al.*, 2007). Finalmente la biomasa puede usarse como combustible en un sistema de pirólisis para producir energía (Ladislas *et al.*, 2015).

Modelo matemático para evaluación de remoción de metales pesados

El mecanismo de biosorción de metales usando células vivas, por ejemplo: la planta de pasto Vetiver, arroz, etc. ocurre en dos etapas: durante la primera etapa, los iones metálicos son adsorbidos por la superficie en la interacción metal - grupos funcionales electrofílicos expuestos hacia el exterior celular. En la segunda etapa, en el proceso de biosorción activa, las especies seleccionadas penetran en la membrana celular (Ismail *et al.*, 2014). La modelación matemática de los procesos de sorción de As en medios acuosos en células vivas se ha estudiado mediante tres grupos de modelos: (1) Método de las isotermas (isotermas de sorción de Langmuir, isotermas de sorción Freundlich, isotermas de sorción Dubinin-Radushkevich R-D); (2) Evaluación termodinámica de los procesos y (3) Cinética de sorción que corresponde a modelos cinéticos de pseudo primer y segundo orden, transferencia de masa, difusión intraparticular, modelo de Richenberg, ecuación de Elovich (Ranjan *et al.*, 2009; Sahmoune, 2016). Para el caso del arroz y en general para los procesos de biosorción, los modelos cinéticos de pseudo segundo orden y pseudo primer orden, modelan mejor la biosorción de As (He y Chen, 2014; Ismail *et al.*, 2014; Ranjan *et al.*, 2009; Sahmoune, 2016), generando

models, mass transfer, intraparticular diffusion, Richenberg model, Elovich equation (Ranjan *et al.*, 2009; Sahmoune, 2016). For the case of rice and in general for the biosorption processes, the kinetic models of pseudo second order and pseudo first order, better model the biosorption of As (He and Chen, 2014; Ismail *et al.*, 2014; Ranjan *et al.*, 2009; Sahmoune, 2016), generating interest in the implementation of the models in the case of live cells of Vetiver grass.

Conclusions

Contamination by inorganic As, in the form of arsenate As (V) in surface waters, groundwater and sediments is a problem worldwide, because its presence not only comes from anthropogenic sources but also from natural sources.

The physiological characteristics of Vetiver grass: fast growth, high biomass production, distributed and deep root system, make it an excellent candidate to be applied as a phytoremediate species of arsenic in water, soils and sediments.

Vetiver grass works through phytofiltration mechanisms, adapts to wetland conditions, withstands extreme climatic conditions, is not an invasive species, accumulates metals in the roots and translocates small amounts to the shoots. The plant material used in phytoremediation has potential for the manufacture of biofuels by taking advantage of the removed biomass.

Based on the literature reviewed, it is concluded that Vetiver grass is an

interés en la implementación de los modelos en el caso de células vivas de pasto Vetiver.

Conclusiones

La contaminación por As inorgánico, en forma de arseniato As (V) en aguas superficiales, subterráneas y sedimentos es una problemática a nivel mundial, debido a que su presencia no solo proviene de fuentes antropogénicas sino también de fuentes naturales.

Las características fisiológicas del pasto Vetiver: crecimiento rápido, alta producción de biomasa, sistema radicular distribuido y profundo, lo hacen un excelente candidato para ser aplicado como una especie fitoremediadora de arsénico del agua, suelos y sedimentos.

El pasto Vetiver trabaja por medio de mecanismos de fitofiltración, se adapta a las condiciones de humedales, soporta condiciones climáticas extremas, no es una especie invasiva, acumula metales en las raíces y transloca pequeñas cantidades a los brotes. El material vegetal utilizado en la fitorremediación tiene potencial para la fabricación de biocombustibles mediante el aprovechamiento de la biomasa removida.

Con base en la literatura revisada, se concluye que el pasto Vetiver es una alternativa eficaz en la remoción de As y su efecto puede ser amplificado al implementar un lecho flotante artificial, desde el punto de vista técnico y económico. Para garantizar la efectividad de las IFA con pasto Vetiver se debe cumplir con

effective alternative in the removal of As and its effect can be amplified by implementing an artificial floating bed, from the technical and economic point of view. To guarantee the effectiveness of the IFAs with Vetiver grass, the criteria of buoyancy, durability, easy installation, resistance to environmental degradation, plant adaptation and economic affordability must be met.

The kinetic models of pseudo first and pseudo second order can be considered as potential methods for the analysis of the biosorption of As with Vetiver grass, after validation and may serve as design tools.

End of English Version

criterios de flotabilidad, durabilidad, fácil instalación, resistencia a la degradación ambiental, adaptación de la planta y asequibilidad económica.

Los modelos cinéticos de pseudo primer y pseudo segundo orden se pueden considerar como métodos potenciales para el análisis de la biosorción de As con pasto Vetiver, previa validación y podrán servir como herramientas de diseño.

Literatura Citada

- Bundschuh, J., M. Armienta, P. Birkle, P. Bhattacharya, J. Matschullat y A. Mukherjee. 2008. Natural Arsenic in Groundwaters of Latin America. First Edition. CRC Press. London. 782 p.
- Charoenlarp K., K. Surakul, P. Winitkhetkammoun, P. Kanthupthim, P. Panbumrung y S. Udorn. 2016. Textile wastewater treatment using vetiver grass cultivated with floating platform technique. RMUTKJ. 10:51-57.

- Colares, G. S., N. Dell'Osbel, P. G. Wiesel, G. A. Oliveira, P. H. Z. Lemos, F. P. da Silva, C. A. Lutterbeck, L. T. Kist y É. L. Machado. 2020. Floating treatment wetlands: A review and bibliometric analysis. *Sci. Entorno total*. 714:136776.
- Dinwiddie, E. y X. M. Liu. 2018. Examining the Geologic Link of Arsenic Contamination in Groundwater in Orange County, North Carolina. *Front. Earth Sci.* 6:111.
- He, J. y J. P. Chen. 2014. A comprehensive review on biosorption of heavy metals by algal biomass: Materials, performances, chemistry, and modeling simulation tools. *Bioresour. Technol.* 160: 67-78.
- He, Y., H. Lin, X. Jin, Y. Dong y M. Luo. 2020. Simultaneous reduction of arsenic and cadmium bioavailability in agriculture soil and their accumulation in *Brassica chinensis* L. by using minerals. *Ecotoxicol. Reinar. Saf.* 198:110660.
- Ismail, I., T. Mostafa, A. Sulaymon y S. Abbas. 2014. Bisorption of heavy metals: A review. *JCST*. 3:74.
- Kusin, F. M., S. N. M. S. Hasan, N. A. Nordin, F. Mohamat-Yusuff y Z. Z. Ibrahim. 2019. Floating Vetiver island (FVI) and implication for treatment system design of polluted running water. *Appl. Ecol. Environ. Res.* 17(1):497-510.
- Ladislav, S., C. Gérente, F. Chazarenc, J. Brissin, y Y. Andrès, 2015. Floating treatment wetlands for heavy metal removal in highway stormwater ponds. *Ecol. Ing.* 80:85-91.
- Lara, S. y R. Navarro. Resultados y Lecciones en Sistema Vetiver para descontaminación de agua y aumento de su disponibilidad para riego. 2017. Fundación para la Innovación Agraria (FIA). Chile. 48p. Disponible en: https://www.opia.cl/static/website/601/articles-87024_archivo_01.pdf. Fecha de consulta: diciembre 2019.
- Li, Y., X. Zhu, X. Qi, B. Shu, X. Zhang, K. Li, Y. Wei, F. Hao y H. Wang. 2020. Efficient removal of arsenic from copper smelting wastewater in form of scorodite using copper slag. *J. Clean. Prod.* 270:122428.
- Martínez-Peña, L., y C. López-Candela. 2018. Islas flotantes como estrategia para el establecimiento de plantas acuáticas en el Jardín Botánico de Bogotá. *Gestión y Ambiente*. 21(1):110-120.
- Mathew, M., Sr. C. Rosary. M. Sebastian y S. M. Cherian. 2016. Effectiveness of Vetiver System for the Treatment of Wastewater from an Institutional Kitchen. *Procedia Technology*. 24:203-209.
- Mondal, P., C. B. Majumder y B. Mohanty. 2006. Laboratory based approaches for arsenic remediation from contaminated water: Recent developments. *J. Hazard. Mater.* 137(1):464-479.
- Morales-Simfors, N., J. Bundschuh, I. Herath, C. Inguaggiato, A. T. Caselli, J. Tapia, F. E. A. Choquehuayta, M. A. Armienta, M. Ormachea, E. Joseph y D. L. López. 2019. Arsenic in Latin America: A critical overview on the geochemistry of arsenic originating from geothermal features and volcanic emissions for solving its environmental consequences. *Sci. Total Environ.* 716:135564.
- Ning, R. Y. 2005. Arsenic in Natural Waters. p. 81-83. *In*: J. H. Lehr y J. Keeley (Eds.). *Water Encyclopedia*. First edition. John Wiley & Sons, Inc.
- Pilon-Smits, E. 2005. Phytoremediation. *Annu Rev Plant Biol.* 56(1):15-39.
- Pincetti-Zúniga, G. P., L. A. Richards, Y. M. Tun, H. P. Aung, A. K. Swar, U. P. Reh, T. Khaing, M. M. Hlaing, T. A. Myint, M. L. Nwe y D. A. Polya. 2020. Major and trace (including arsenic) groundwater chemistry in central and southern Myanmar. *Appl. Geochemistry*. 115:104535.
- Prasad, M. N. V. 2003. Phytoremediation of Metal-Polluted Ecosystems: Hype for Commercialization. *Russ. J. Plant Physiol.* 50(5):686-701.
- Praveen, A., S. Mehrotra y N. Singh. 2019. Mixed plantation of wheat and accumulators in arsenic contaminated

- plots: A novel way to reduce the uptake of arsenic in wheat and load on antioxidative defence of plant. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 182:109462.
- Ranjan, D., M. Talat y S. H. Hasan. 2009. Biosorption of arsenic from aqueous solution using agricultural residue 'rice polish'. *J. Hazard. Mater.* 166(2-3):1050-1059.
- Raskin, I. y B. D. Ensley. 2000. Phytoremediation of toxic metals: Using plants to clean up the environment. *J. Wiley.* 304 p.
- Ravenscroft, P., H. y K. S. Richards. 2009. Arsenic pollution: A global synthesis. Wiley-Blackwell. Wiley-Blackwell. RGS-IBG book series. 588 p.
- Reddy, K. R., y R. D. DeLaune. 2008. Biogeochemistry of wetlands: Science and applications. CRC Press. 774 p.
- Rong, Z., X. Tang, L. Wu, X. Chen, W. Dang y Y. Wang. 2020. A novel method to synthesize scorodite using ferrihydrite and its role in removal and immobilization of arsenic. *J. Mater. Res. Technol.* 9(3):5848-5857.
- Roongtanakiat, N., S. Tangruangkiat y R. Meesat. 2007. Utilization of Vetiver Grass (*Vetiveria zizanioides*) for Removal of Heavy Metals from Industrial Wastewaters. *Sci. Asia.* 33(4):397.
- Sahmoune, M. N. 2016. The Role of Biosorbents in the Removal of Arsenic from Water. *Chem Eng Technol.* 39(9):1617-1628.
- Samal, K. 2019. Ecological floating bed (EFB) for decontamination of polluted water bodies: Design, mechanism and performance. *J Environ Sci Manag.* 13: 1-13.
- Shu, W. y Xia, H. 2003. Integrated vetiver technique for remediation of heavy metal contamination: potential and practice. In The third international conference on Vetiver. Disponible en: <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.688.7992&rep=rep1&type=pdf>. Fecha de consulta: diciembre 2019.
- Shukla, A. y S. Srivastava. 2017. Emerging Aspects of Bioremediation of Arsenic. p. 395-407. In: R. Singh y S. Kumar (Eds.). *Green Technologies and Environmental Sustainability*. Springer International Publishing.
- Singh, S., S. Sounderajan, K. Kumar y D. P. Fulzele. 2017. Investigation of arsenic accumulation and biochemical response of *in vitro* developed *Vetiveria zizanioides* plants. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 145:50-56.
- Siyar, R., F. D. Ardejani, M. Farahbakhsh, P. Norouzi, M. Yavarzadeh y S. Maghsoudy. 2020. Potential of Vetiver grass for the phytoremediation of a real multi-contaminated soil, assisted by electrokinetic. *Chemosphere.* 246:125802.
- Smolcz, S.U. y V.G. Cortés. 2015. Remediation of boron contaminated water and soil with vetiver phytoremediation technology in Northern Chile. In 6th International Conference on Vetiver (ICV6). Disponible en <https://icv-7.com/wp-content/uploads/2019/09/1-S.-Ugalde-Smolcz-Paper.pdf>. Fecha de consulta: Mayo 2019.
- Srivastava, J., S. Kayastha, S. Jamil, y V. Srivastava. 2008. Environmental perspectives of *Vetiveria zizanioides* (L.) Nash. *Acta Physiol. Plant.* 30(4):413-417.
- Srivastava, S., P. Suprasanna y S. F. D'Souza. 2012. Mechanisms of Arsenic Tolerance and Detoxification in Plants and their Application in Transgenic Technology: A Critical Appraisal. *Int. J. Phytoremediation.* 14(5):506-517.
- Tanner, C. C., y T. R. Headley. 2011. Components of floating emergent macrophyte treatment wetlands influencing removal of stormwater pollutants. *Ecol. Eng.* 37: 474-486.
- Tharp, R., K. Westhelle y S. Hurley. 2019. Macrophyte performance in floating treatment wetlands on a suburban stormwater pond: Implications for cold climate conditions. *Ecol. Eng.* 136: 152-159.
- Truong P. 2003. Vetiver grass system: Potential applications for soil and water conservation in northern California. Proceedings of the Third International Vetiver Conference,

China. Disponible en: http://www.vetiver.org/ICV3-Proceedings/AUS_California.pdf. Fecha de consulta: enero de 2020.

Van der Ent, A., A. J. M. Baker, R. D. Reeves, A. J. Pollard, y H. Schat. 2013. Hyperaccumulators of metal and metalloid trace elements: Facts and fiction. *Plant Soil*. 362(1-2):319-334.

Wang, L. K., J. H. Tay, S. T. L. Tay y Y. T. Hung. 2010. *Environmental bioengineering*. Springer Science & Business Media. New York. 867 p.

Yeh, N., P. Yeh y Y. H. Chang. 2015. Artificial floating islands for environmental improvement. *Renew. Sust. Ener. Rev.* 47:616-622.

Zhao, F. J., S. P. McGrath, y A. A. Meharg. 2010. Arsenic as a Food Chain Contaminant: Mechanisms of Plant Uptake and Metabolism and Mitigation Strategies. *Annu. Rev. Plant Biol.* 61(1):535-559.

Zuzolo, D., D. Cicchella, A. Demetriades, M. Birke, S. Albanese, E. Dinelli, A. Lima, P. Valera y B. De Vivo. 2020. Arsenic: Geochemical distribution and age-related health risk in Italy. *Environ. Res.* 182: 1-17.