



REVISTA

Vol. 26 (July-August-September)

3/2017



# CIENCIAS TÉCNICAS AGROPECUARIAS

## NUEVA ÉPOCA

Bilingual quarterly publication of the Universidad Agraria de La Habana (UNAH), Facultad de Ciencias Técnicas and their Centro de Mecanización Agropecuaria (CEMA). Scientific and technological organ of the Asociación Latinoamericana y del Caribe de Ingeniería Agrícola (ALIA) and the Asociación Mexicana de Ingeniería Agrícola (AMIA), cosponsored by the Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric), of Havana, Cuba; Departamento de Ingeniería Mecánica Agrícola (DIMA) of the Universidad Autónoma Chapingo (UACH), Mexico, Cuerpo Académico Suelo-Agua y Fisiología Vegetal (CASAFV) of the Universidad Autónoma de Sinaloa (UAS), Mexico Estación Experimental del Arroz (EEA), "Los Palacios" of the INCA in Pinar del Río, Cuba and the Cuban universities: UCLV; UNICA & UDG.

### FOUNDED IN 1986

Registered in the Registro Nacional de Publicaciones Seriadadas (RNPS) with the No. 0111, folio 37, Volume I and the Empresa Correos de Cuba under the number 930001/164. Hosted rate printed newspapers, thus being authorized printing and circulation. **ISSN - 1010-2760, E-ISSN: 2071-0054**

#### DIRECTIVE - DIRECTIVOS

Universidad Agraria de La Habana (UNAH)  
Dr.C. Adianez Taboada Zamora - *Rectora*  
Dr.C. Antihus Hernández Gómez- *Vicerrector*  
Facultad de Ciencias Técnicas  
Dr.C. Annia García Pereira- *Decana*

#### WEBMASTER (NATIONAL)

Tec. Dariel Medero Plasencia

#### WEBMASTER (INTERNATIONAL)

MC. Edgar Ramírez Galeano (México)

#### REFEREES STAFF FOR COUNTRIES / CARTERA DE ARBITROS POR PAÍSES

##### ARGENTINA

Dr.C. Juan C. Rodríguez, INTA

##### BRAZIL / BRASIL

Dr.C. Mauri Martins Teixeira, UFV  
Dr.C. Antonio Teixeira de Matos, UFV  
Dr.C. Cristiano M. Alves de Souza, UFGD  
Dr.C. Leidy Zulys Leyva Raffull, UFGD

##### CUBA

#### Universidad Agraria de La Habana

Dr.C. Pablo Hernández Alfonso, FCT  
Dr.C. Armando García de la Figal C., FCT  
Dr. C. Ernesto Ramos Carbajal, CEMA  
Dr.C. María E. Ruiz Pérez, FCT  
Dr.C. Oscar Llanes Guerra, FCT  
Dr.C. Demetrio Díaz Martín, FCT  
Dr.C. Roberto González Valdés, FCT  
Dr.C. Pedro Valdés Hernández, FCT  
Dr.C. Andrés Lau Quan, FCT  
Dr.C. Jorge García Coronado, FCT  
Dr.C. Alexander Sanchez Diaz, Dpt. Inf.  
Dr.C. Lilibeth M. González Ruiz, FCT  
Dr.C. Yusney Marrero García, FCT  
Dr.C. Liane Portuondo Farías, FA

#### Universidad Central de las Villas

Dr.C. Omar González Cueto  
Dr.C, Elvis López Bravo

#### Universidad de Ciego de Ávila

Dr.C. Oscar N. Brown Manrique  
Dr.C. Antonio Daquinta Gradaille  
Dr.C. Dayma Carmenates Hernández  
Dr.C. Maiquel López Silva

#### Universidad de Granma (UDG)

Dr.C. Benjamin Gaskins Espinosa  
Dr.C. Luis Parra Serrano  
Dr.C. Osvaldo Leyva Santiesteban  
Dr.C. Yans Guardia Puebla

#### Universidad de Artemisa

Dr.C. Carlos Suárez Ponciano  
**MES**

Dr.C. Mario Herrera Prat  
Dr.C. Mario Zaldiva Salazar

#### Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric)

Dr.C. Aymara García López  
Dr.C. Julián Herrera Puebla  
Dr.C. Teresa López Seijas  
Dr.C. Greco Cid Lazo  
Dr.C. Marcial Méndez Fernández

Dr.C. Carmen E. Duarte Díaz

Dr.C. Arcadio Ríos Hernández  
Dr.C. Yoima Chaterlan Durruthy  
Dr.C. Manuel Fernández Sánchez  
Dr.C. Felicitá González Robaina  
Dr.C. Manuel Reinaldo Rodríguez  
Dr.C. Enrique Cisneros Zayas

#### Estación Experimental del Arroz (EEA) «Los Palacios»

Dr.C. Alexander Miranda Caballero

Dr.C. Ricardo Polón Pérez

#### ECUADOR

Dr.C. Carlos Balmaseda Espinosa, UEPSE

Dr.C. Ramón Pérez Leira, ULEAM  
Dr.C. Miguel Herrera Suárez, UTM  
Dr.C. Liudmila Shkiliova, UTM  
Dr.C. Ciro Iglesias Coronel, UTM

#### CHILE

Dr.C. Edmundo Hetz H. UC

#### SPAIN / ESPAÑA

Dr.C. Carlos Gracia López, UPV  
Dr.C. Esteve Codina Macia, UPC

#### MEXICO

Dr.C. Eugenio Romantchik K., UACH  
Dr. Gilberto López Canteñs, UACH  
Dr.C. Luciano Pérez Sobrevilla, UACH  
Dr.C. Samuel García Silva, UACH  
Dr.C. José Manuel Cabrera Sixto, UG  
Dr.C. Tomás Díaz Valdés, UAS  
Dr.C. Fidel Diego Nava, IPN

#### USA

Brenda V. Ortiz, Ph.D., Auburn University

#### ENGLISH REVISION / REVISIÓN DEL INGLÉS

Lic. Galia Lavastida Pérez (Cuba)

#### MARKUP / MARCACIÓN

M.Sc. Rafael Cervantes Beyra (Cuba)

#### COLLABORATORS / COLABORADORES

MC. Edgar Ramírez Galeano, (México)  
Tec. Dariel Medero Plasencia (Cuba)  
M.Sc. Astrid Fdez. de Castro Fabre (Cuba)  
M.Sc. Jeny Pérez Petitón (Cuba)  
Tec. Belén Ramos Reyes (Cuba)  
Tec. Hildelisa Rodríguez Marte (Cuba)  
Tec. Idarmis de la Rosa Hernández (Cuba)

#### RCTA EDITORIAL COUNCIL / CONSEJO EDITORIAL President / Presidente

Dr.C. Yanoy Morejón Mesa, UNAH, Cuba

#### Members / Miembros

Dr.C. Antihus Hernández Gómez, UNAH, Cuba  
Dr.C. Annia García Pereira, UNAH, Cuba  
Dr.C. Haroldo Carlos Fernandes, UFV, Brasil  
Ing. Marco A. Rojas Martínez, UACH, México

#### EDITORIAL STAFF / COMITÉ EDITORIAL

Dr.Cs. Arturo Martínez Rodríguez, UNAH, Cuba  
Dr.C. Teresa López Seijas, IAgric, Cuba  
Dr.C. Alexander Miranda Caballero, EEA, Cuba  
Dr.C. Albi Mujica Cervantes, UNICA, Cuba  
Dr. Gilberto López Canteñs, UACH, México  
MC. Edgar Ramírez Galeano, UACH, México  
Dra. Alma Velia Ayala Garay, INIFAP, México

#### REFEREES AND EDITORIAL STAFF / COMITÉ DE REDACCIÓN Y ARBITRAJE

Dr.Cs. Arturo Martínez Rodríguez, President,  
Lic. Elisa, Gallardo López, Executive Secretary,  
M.Sc. Geisy Hernández Cuello,  
Dr.C. Pedro Paneque Rondón,  
Dr.C. Armando García de la Figal Costales,  
M.Sc. Rafael Cervantes Beyra,  
Dr.C. Pedro Valdés Hernández,  
Dr.C. Lilibeth M. González Ruiz,  
Dr. C. Ernesto Ramos Carbajal.

#### CHIEF EDITOR - DIRECTOR

Dr.C. Pedro Paneque Rondón, UNAH, Cuba

#### Publishers / Editores

Pedro Paneque Rondón y  
Geisy Hernández Cuello

#### Copy editor / Corrector de estilo

Rafael Cervantes Beyra

#### Journal and cover designer / Diseñador de la revista y su portada

Israel de Jesús Zaldivar Pedroso

#### Diagramation / Diagramación

Maryen Zaldivar González



Editorial RCTA



Printer / Impresor  
Ramiro Fernández Portal

# REVISTA CIENCIAS TÉCNICAS AGROPECUARIAS

Publicación Científico-Tecnológica de Ingeniería Agrícola, que según el ULRICH'S INTERNATIONAL PERIODICALS DIRECTORY, está incluida en los índices internacionales relevantes a su especialidad que le proporcionan difusión y visibilidad, le fue otorgada la Certificación de Publicación Seriadada Científico-Tecnológica del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA) de la República de Cuba, aparece en el Catálogo de Publicaciones Seriadadas Cubanas. A continuación algunos de los repertorios y directorios internacionales donde es procesada:

• SciELO • SciELO Citation Index of the Web of Science • AGRIS(FAO) • EBSCO Information Services (USA) • THOMSON GALE (Gale Group)(USA) • CISTI(Canadá) • LATINDEX • PERÍODICA (México) • ACTUALIDAD IBEROAMERICANA (Chile) • CUBACIENCIAS • REDALYC • CAB ABSTRACTS (UK) • DOAJ • ULRICH'S • INFOTRAC CUSTOM • ACADEMIC ONE FILE • DRJI Indexed Journal • COLCIENCIAS • Journal Search -IP & Science-THOMSON REUTERS • JOURNALS FOR FREE (J4F)



Para mayor información sobre la revista dirija su correspondencia a:

Director de la Revista *Ciencias Técnicas Agropecuarias* / Apartado Postal 18-19, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba.

E-✉: [rcta@unah.edu.cu](mailto:rcta@unah.edu.cu)

La versión electrónica de la revista se encuentra en el sitio web: <http://www.rcta.unah.edu.cu>

“El envío de manuscritos, el procesamiento y la publicación no ofrece ningún coste a los autores, es totalmente gratis”

## CONTENTS

### ORIGINAL ARTICLES



#### SOIL AND WATER

301. The Coffee Tree (*Coffea arabica* L.) Response to Water Deficit in Different Development Phases (*Felicita Gonzalez-Robaina, Enrique Cisneros-Zayas, Eugenio Montilla*) / 4
302. New Criterion for the Hydraulic Design of the Central Pivot Irrigation System (*Maiquel Lopez-Silva, Dayma Carmenates-Hernandez, Albi Mujica-Cervantes,, Pedro Paneque-Rondon*) / 12
303. Estimation of Hydrological Variables Using Regression Models in the Suchiate River Basin, Guatemala (*Isaí Álvarez-Sevilla, Oscar Brown-Manrique, Erika Paola del Cid-Colindres*) / 22
304. Mathematical Models for Flow Estimation in Sutro Weirs Used in Irrigation Systems (*Luis Manuel Sandoval-Mendoza, Mayra Isabel Juárez-Bonilla, Oscar Brown-Manrique, Albi Mujica-Cervantes, Jorge Douglas Bonilla-Rocha, Yurisbel Gallardo-Ballat*) / 30
305. Structural and Functional Evaluation of Humic Acids in Interaction with Toxic Metals in a Cultivar of Agricultural Interest (*Liane Portuondo-Farías, Dariellys Martínez-Balmori, Fernando Guridi-Izquierdo, Andres Calderin-García, João Paulo Machado-Torres*) / 39



#### OPERATION AND MECHANIZED PROCESSES

306. Technical and Economic Indicators for the Operation of Milk Refrigeration Centers in Guaimaro, Camagüey (*Dusquier Elizalde-Rodriguez, Neeldes Matos-Ramirez, Pedro A. Valdes-Hernandez, Dalmis Delgado-Gonzalez, Leider Labrada-Acosta, Randy Milanes-Pérez*) / 47



#### CONSERVATION AGRICULTURE

307. Comparison of the Energy Cost in the Corn Cultivation with Conventional and Conservation Agriculture Systems (*Pedro Paneque-Rondon, Wolfgang Jiménez, Pablo Hernandez-Alfonso, María Victoria Gomez-Águila, Héctor R. de las Cuevas-Milán, Alexander Miranda-Caballero*) / 58



#### MECHANICAL TECHNOLOGY

308. Characterization of Thermo-Fixed Polymer Matrix Composite Reinforced with Cubic Zeolite Particles (*Yosvani Guerra-Silva, Jose Luis Valin-Rivera, Maria Elena Fernandez-Abreu, Francisco Jesus Mondelo-Garcia, Daniel Diaz-Batista, Helio Wiebeck, Henry Figueredo-Losada, Alexander Alfonso-Alvarez*) / 71
309. Identification of the Services in Four Integral Managerial Base Units of Technical Services (*Manuel Fernandez-Sanchez, Jose Suarez-León, Liudmila Shkiliova, Celandia Urgelles, Jose Angel Almaguer*) / 84



#### USE OF ENERGY IN AGRICULTURE AND THE FISHING

310. Energy-Economic Evaluation in the Production of Canned Tuna in the Ecuadorian Industry (*Angel Rafael Arteaga-Linzan, Maria Isabel Fernandez-Parra, Angel Luis Brito-Sauvanell*) / 94

Cover: XLth Anniversary UNAH

Photos: archive; cover design: Israel de J. Zaldívar Pedroso and diagrammation: Maryen Zaldívar González

# REVISTA CIENCIAS TÉCNICAS AGROPECUARIAS

Scientific-Technological publication of Agricultural Engineering that according to the ULRICH 'S INTERNATIONAL PERIODICALS DIRECTORY, is included in the excellence international indexes for its specialty providing its diffusion and visibility, it has the Certification conceived by the Ministry of Science, Technology and Environment (CITMA) of the Republic of Cuba as a Scientific-Technological Serial Publication, it appears in the Cuban Catalogue of Serial Publications and may be found in international repertoires and directory such as:

• SciELO • SciELO Citation Index of the Web of Science • AGRIS(FAO) • EBSCO Information Services (USA) • THOMSON GALE (Gale Group)(USA) • CISTI(Canadá) • LATINDEX • PERÍODICA (México) • ACTUALIDAD IBEROAMERICANA (Chile) • CUBACIENCIAS • REDALYC • CAB ABSTRACTS (UK) • DOAJ • ULRICH'S • INFOTRAC CUSTOM • ACADEMIC ONE FILE • DRJI Indexed Journal • COLCIENCIAS • Journal Search -IP & Science-THOMSON REUTHERS • JOURNALS FOR FREE (J4F)



For further information, please contact:

Director of the *Revista Ciencias Tecnicas Agropecuarias* / Apartado Postal 18-19, San Jose de las Lajas, Mayabeque, Cuba.

E-✉: [rcta@unah.edu.cu](mailto:rcta@unah.edu.cu)

“Sending manuscripts, processing and publication offers no cost to the authors, it's totally free”

## CONTENIDO

### ARTÍCULOS ORIGINALES



#### SUELO Y AGUA

301. Respuesta al déficit hídrico del cafeto (*Coffea arabica* L.) en diferentes fases de desarrollo (*Felicita González-Robaina, Enrique Cisneros-Zayas, Eugenio Montilla*) / 4
302. Nuevo criterio para el diseño hidráulico del sistema de riego de pivote central (*Maiquel López-Silva, Dayma Carmenates-Hernández, Albi Mujica-Cervantes, Pedro Paneque-Rondón*) / 12
303. Estimación de variables hidrológicas mediante modelos de regresión en la cuenca del río Suchiate, Guatemala (*Isaí Álvarez-Sevilla, Oscar Brown-Manrique, Erika Paola del Cid-Colindres*) / 22
304. Modelos matemáticos para la estimación del caudal en vertedores Suro utilizados en sistemas de riego (*Luis Manuel Sandoval-Mendoza, Mayra Isabel Juárez-Bonilla, Oscar Brown-Manrique, Albi Mujica-Cervantes, Jorge Douglas Bonilla-Rocha, Yuribel Gallardo-Ballat*) / 30
305. Avaliação estrutural e funcional dos ácidos húmicos na interação com metais tóxicos em um cultivar de interesse agrícola (*Liane Portuondo-Farías, Dariellys Martínez-Balmori, Fernando Guridi-Izquierdo, Andrés Calderín-García, João Paulo Machado-Torres*) / 39



#### EXPLOTACIÓN Y PROCESOS MECANIZADOS

306. Indicadores técnicos-económicos de explotación de los centros de refrigeración de leche en Guáimaro, Camagüey (*Dusquier Elizalde-Rodríguez, Neeldes Matos-Ramírez, Pedro A. Valdés-Hernández, Dalmis Delgado-González, Leider Labrada-Acosta, Randy Milanés-Pérez*) / 47



#### AGRICULTURA DE CONSERVACIÓN

307. Comparación del costo energético en el cultivo del maíz con Sistemas Convencional y de Conservación (*Pedro Paneque-Rondón, Wolfgang Jiménez, Pablo Hernández-Alfonso, María Victoria Gómez-Águila, Héctor R. de las Cuevas-Milán, Alexander Miranda-Caballero*) / 58



#### TECNOLOGÍA MECÁNICA

308. Caracterización de material compuesto de matriz polimérica termofija reforzado con partículas de zeolita cubana (*Yosvani Guerra-Silva, José Luis Valin-Rivera, María Elena Fernández-Abreu, Francisco Jesús Mondelo-García, Daniel Díaz-Batista, Hélio Wiebeck, Henry Figueredo-Losada, Alexander Alfonso-Alvarez*) / 71
309. Identificación de los servicios prestados en cuatro Unidades Empresariales de Base Integrales de Servicios Técnicos (*Manuel Fernández-Sánchez, Jose Suárez-León, Liudmila Shkiloiva, Celandia Urgelles, José Ángel Almaguer*) / 84



#### USO DE LA ENERGÍA EN LA AGRICULTURA Y LA PESCA

310. Evaluación energético-económica en la producción de atún en conservas en la industria ecuatoriana (*Ángel Rafael Arteaga-Linza, María Isabel Fernández-Parra, Ángel Luis Brito-Sauvanell*) / 94

Portada: XL Aniversario UNAH

Fotos: archivo; diseño: Israel de J. Zaldívar Pedroso y diagramación: Maryen Zaldívar González



## The coffee tree (*Coffea arabica* L.) response to water deficit in different development phases

### *Respuesta al déficit hídrico del cafeto (Coffea arabica L.) en diferentes fases de desarrollo*

Dr.C. Felicita González-Robaina<sup>I</sup>, Dr.C. Enrique Cisneros-Zayas<sup>I</sup>, Dr.C. Eugenio Montilla<sup>II</sup>

<sup>I</sup> Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola, Boyeros, La Habana. Cuba,

<sup>II</sup> Instituto de Investigaciones Agropecuarias (IIAP), ULA, Venezuela.

**ABSTRACT.** Coffee is a remarkable exportable item of Cuban economy. In the last years, its yield has been depressed, among other causes, for rainfalls scarcity and low availability of water for irrigation. Most of crops possess critical periods in which water deficit produces serious problems to the productive process, these damages depend on the duration and on the plant development phase, for that reason the present work was aimed at studying sensitivity factor on coffee tree, subjected to water deficit in different phenological stages. The study was carried out at Pinar del Río province, in coffee plantations *var. Red Caturra* in the production phase, with a density of 5 000 plants ha<sup>-1</sup>. The soil was classified as Yellowish Alitico of Low Typical Loamy Activity and the experimental design used was random blocks with six treatments and four repetitions. For water balance, Masses Balance Method was used and to quantify the effect of water deficit on the yield, the relationship between relative yield decrease and relative evapotranspiration deficit was used. As a result, the relative yield reduction was accentuated in the phase of fructification-development of the fruit with a value of 0.58. Average value of crop sensitivity factor to water deficit (Ky) in all phases was of 0.52, indicating that coffee is tolerant to water deficit and it recovers partially from stress.

**Keywords:** water response, evapotranspiration, yield.

**RESUMEN.** En Cuba el café es un rubro exportable de significativa importancia económica. En los últimos años el rendimiento se ha deprimido, entre otras causas, por la disminución de las precipitaciones y la baja disponibilidad de agua para el riego. La mayoría de los cultivos poseen períodos críticos en los cuales un déficit hídrico produce serios problemas a la producción final, estos daños dependen de la duración y de la fase de desarrollo de la planta. Es por ello que el presente trabajo tuvo como objetivo estudiar el factor de sensibilidad (Ky) del cafeto, sometido a déficit hídrico en diferentes estadios fenológicos. El estudio se llevó a cabo en la provincia Pinar del Río, en plantaciones de cafeto *var. caturra* rojo en fase de producción, con una densidad de 5000 plantas ha<sup>-1</sup>. El suelo se clasifica como Alítico Amarillento de Baja Actividad Arcillosa Típico y el diseño experimental utilizado fue bloques al azar con seis tratamientos y cuatro repeticiones. Para el balance hídrico se utilizó el método de Balance de Masas y para cuantificar el efecto del estrés hídrico sobre la producción agrícola se utilizó la relación entre la disminución relativa del rendimiento y el déficit relativo de evapotranspiración. Como resultado se tiene que la reducción relativa del rendimiento fue más acentuada en la fase de fructificación-desarrollo del fruto con un valor de 0,58. El valor promedio del Ky en todas las fases fue de 0,52, indicando que el cafeto es tolerante al déficit hídrico y se recupera parcialmente del estrés.

**Palabras clave:** respuesta al agua, evapotranspiración, rendimiento.

## INTRODUCTION

Coffee is considered the main agricultural product of consumption in the world with a market that generates annually more than 90 trillion dollars. Near 8 % of the world's

## INTRODUCCIÓN

El café se considera el principal producto agrícola de consumo en el mundo con un mercado que genera anualmente más de 90 billones de dólares. Cerca de 8% de la población mundial, unos 500



population, about 500 million people are involved in coffee market, from sowing until final consumption (DaMatta & Rodriguez, 2007).

At the present time, many coffee regions of the world have been affected by lengthy periods of drought, due to the decrease of the rainfalls by the variability of climate change, causing important reductions in the yields.

It is a broadly well-known fact the particular sensitivity that each phase of development of a crop presents to the environmental factors. Particularly, in the case of water stress, the blossoming phase seems to be the most sensitive in most of the crops whose final products are grains or fruits; which has been broadly documented in studies by Farré & Faci (2006); De La Casa & Ovando (2007) and Steduto *et al.* (2012).

These results are in agreement with the fact that, independently of the sowing time, the biggest rate in evapotranspiration of the crops takes place in the blossoming phases and maturation, which are the stages of development of more physiologic activity.

Stewart *et al.* (1977) developed a general model to relate relative yield decrease and relative evapotranspiration deficit. Doorenbos and Kassam (1986) and later on Kipkorir *et al.* (2002); Fabeiro *et al.* (2003); Allen *et al.* (2006); Ferreira and Gonçalves (2007); Gonçalves and Pereira (2009); Dehghanisanij *et al.* (2009); Pereira *et al.* (2009) and Garg *et al.* (2014) have used this lineal relationship to quantify the answer to water deficit of agricultural crops, by means of yield response factor ( $K_y$ ) or sensitivity factor to water deficit. This factor describes the relative reduction of productivity in function of the reduction of the  $ET$  generated by deficit of plant water consumption.

The great utility of this type of approach is given in the possibility of comparing irrigation strategies to choose those that better respond to the interests of the case of study and to evaluate the impacts of water stress on agricultural production. It is also the most used as function water-yield in simulation models like the WINISAREG for programming irrigation (Popova *et al.*, 2006; Chaterlán, 2012) and in the model AquaCrop, proposed by FAO to simulate the answer to water for a great variety of crops due to their great capacity to maintain an adequate balance among accuracy, simplicity, robustness and of extrapolation inclusive to future climatic scenarios (Hsiao *et al.*, 2009; Raes *et al.*, 2010; Nazeer and Alí, 2012). The work had as objective to study the sensitivity factor of coffee trees (*Coffea arabica* L.) to water deficit in different stages of growing.

## METHODS

The experimental works were developed in Pueblo Nuevo town, belonging to the Integral Forest Company (EFI) La Palma, Pinar del Río province, located, conforms LAMBERT, in North Cuba coordinates, latitude 22°46' N and longitude 82°52' E. It is between 150 m and 180 m high over the medium level of the sea. Its topography is regularly flat with slopes that go until the order of 1 %. R

millones de personas, están involucradas en el mercado del café, desde su siembra hasta su consumo final (DaMatta y Rodríguez, 2007).

En la actualidad muchas regiones cafetaleras del mundo se han visto afectadas por prolongados períodos de sequía, debido a la disminución de las precipitaciones provocadas por la variabilidad del cambio climático, y esto ha provocado importantes reducciones en los rendimientos.

Es un hecho ampliamente conocido la sensibilidad particular que cada fase de desarrollo de un cultivo presenta a los factores ambientales. Particularmente en el caso del estrés hídrico, la fase de floración parece ser la más sensible en la mayor parte de los cultivos en que su producto final lo constituyen granos o frutos; lo cual ha sido ampliamente documentado en estudios de Farré y Faci (2006), de la Casa y Ovando (2007), y Steduto *et al.* (2012).

Estos resultados están en concordancia con el hecho de que, independientemente de la época de siembra, la mayor tasa de evapotranspiración de los cultivos se produce en las fases de floración y maduración, que son las etapas de desarrollo de mayor actividad fisiológica.

Stewart *et al.* (1977), desarrollaron un modelo general para relacionar la pérdida relativa del rendimiento y el déficit relativo de evapotranspiración. Doorenbos y Kassam (1986), y posteriormente Kipkorir *et al.* (2002), Fabeiro *et al.* (2003), Allen *et al.* (2006), Ferreira y Gonçalves (2007), Rodrigues y Pereira (2009), Dehghanisanij *et al.* (2009), Pereira *et al.* (2009), y Garg y Dadhich (2014), han utilizado esta relación lineal para cuantificar la respuesta al déficit hídrico de los cultivos agrícolas, mediante el factor de respuesta del rendimiento ( $K_y$ ) o sensibilidad al déficit. Este factor describe la reducción relativa de la productividad en función de la reducción de la  $ET$  generada por el déficit de agua para el consumo de la planta.

La gran utilidad de este tipo de aproximación está dada en la posibilidad de comparar estrategias de riego para escoger las que mejor respondan a los intereses del caso de estudio y evaluar los impactos del estrés hídrico sobre la producción agrícola. Además es la más utilizada como función agua-rendimiento en modelos de simulación como el WINISAREG para la programación del riego (Popova *et al.*, 2006; Chaterlán, 2012) y en el modelo AquaCrop, propuesto por la FAO para simular la respuesta al agua para una gran variedad de cultivos por su gran capacidad de mantener un equilibrio suficiente entre la exactitud, simplicidad, robustez y de extrapolación inclusive a escenarios climáticos futuros (Hsiao *et al.*, 2009; Raes *et al.*, 2010; Nazeer y Alí, 2012). El trabajo tuvo como objetivo estudiar el factor de sensibilidad al déficit hídrico del cafeto (*Coffea arabica* L.), sometido a déficit hídrico en diferentes estadios fenológicos.

## MÉTODOS

Los trabajos experimentales se desarrollaron en la localidad de Pueblo Nuevo, de la Empresa Forestal Integral (EFI) La Palma, provincia Pinar del Río, ubicada en las coordenadas, conforme LAMBERT, Cuba Norte de latitud 22°46' N y longitud 82°52' E. La altura sobre el nivel medio del mar varió entre 150 m y 180 m. La topografía es regularmente llana con pendientes que van hasta el orden del 1%.

Las investigaciones se ejecutaron en plantaciones de cafeto (*Coffea arabica* L.) var. Caturra rojo, en fase de producción de 12 años de edad, con un área de 1,40 hectáreas netas, el marco de plantación fue de 2,00 m x 1,00 m, para una densidad de 5 000

Researches were performed in coffee plantations (*Coffea arabica* L) var. Red Caturra, in a 12 year-old production phase, with an area of 1,40 net hectares, the plantation pattern was of 2,00 m x 1,00 m, for a density of 5000 plants ha<sup>-1</sup>, under controlled shade of covering trees (*Gliricidia Spediun* Sp) typical of the area. The method of superficial located irrigation was used with sprayers spaced 1.00 m inserted in the lateral of PEBD pipe of 25 x 21 mm, one per array of plants.

The area is characterized by an average pluviometry of 1 682.0 mm (medium of 24 years, INSMET, 2011) distributed: 23.5 % in the low rainy period (November-April) and 76.5 % in the rainy period (May-October). Reference evapotranspiration ( $ET_o$ ) was 1 724.5 mm. Monthly distribution of rain and evapotranspiration average appear in Figure 1, where it can be observed that in the months of January-April,  $ET_o$  overcomes precipitation, coinciding with the months where it was possible to establish the treatments with water deficit in different stages of coffee development.

plantas ha<sup>-1</sup>, bajo sombra controlada de piñón (*Gliricidia Spediun* Sp.) típico de la zona. Se utilizó el método de riego localizado superficial con emisores espaciados a 1,00 m insertados en el lateral de PEBD de 25 x 21 mm, dispuestos uno por hilera de plantas.

La zona se caracteriza por una pluviometría promedio de 1 682,0 mm (media de 24 años, INSMET, 2011) distribuidas el 23,5% en el período poco lluvioso (noviembre-abril) y 76,5% en el período lluvioso (mayo-octubre). La evapotranspiración de referencia ( $ET_o$ ) fue de 1 724,5 mm. La distribución mensual de la lluvia y la evapotranspiración promedio aparecen en la Figura 1, donde se puede observar que en los meses de enero-abril, la  $ET_o$  supera la precipitación, coincidiendo con los meses donde fue posible establecer los tratamientos con déficit hídrico en diferentes fases de desarrollo del café.

El suelo en que se efectuaron las investigaciones se clasifica como Ferralítico Cuarcítico Amarillo Rojizo Lixiviado según la segunda clasificación genética de los suelos de Cuba, que se corresponde con un Alítico Amarillento de Baja Actividad Arcillosa Típico según Hernández *et al.* (2003), citado por Cid (2012).

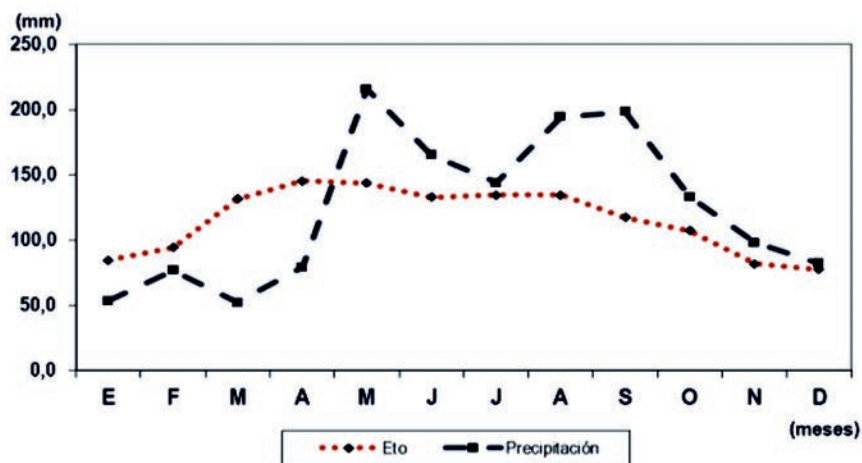


FIGURE 1. Behavior of precipitation and reference evapotranspiration in Pueblo Nuevo, Pinar del Río.  
 FIGURA 1. Comportamiento de la precipitación y la evapotranspiración de referencia en Pueblo Nuevo, Pinar del Río.

The soil where the researches were made is classified as Reddish Ferrallitic Leached Yellow Quartzite according to the second genetic classification of soils of Cuba that correspond with a Yellowish Alitic of Typical Low Loamy Activity according to Hernández *et al.* (2003, mentioned by Cid, 2012).

The experimental design used was random blocks with six (6) treatments and four (4) repetitions. The calculation area was of 24 m<sup>2</sup> (6 x 4 m) and 8 plants per replica were taken, for a total of 32 plants in each treatment. Treatments were in function of the application of water deficit in different development stages of the crop: *T1*, without water deficit in none of the phases; *T2*, deficit in blossoming-fructification phase; *T3*, deficit in the phase of fructification development of the fruit; *T4*, deficit in maturation-harvest phase, *T5* deficit in vegetative phase and *T6* deficit in all phases.

Irrigation moment and volume of irrigation were controlled by the gravimetric method by means of taking soil samples per layers of 0.10 m until a depth of 0.60 m, and control treatment was *T1*.

El diseño experimental utilizado fue bloques al azar con seis (6) tratamientos y cuatro (4) repeticiones. El área de cálculo fue de 24 m<sup>2</sup> (6 x 4 m) y se tomaron 8 plantas por réplicas para un total de 32 plantas por tratamiento. Los tratamientos estuvieron en función de la aplicación del déficit hídrico en diferentes fases de desarrollo del cultivo: *T1*, sin déficit hídrico en ninguna de las fases; *T2*, déficit en la fase de floración-fructificación; *T3*, déficit en la fase de fructificación desarrollo del fruto; *T4*, déficit en la fase de maduración-cosecha, *T5* déficit en la fase vegetativa y *T6* déficit en todas las fases.

El momento de riego y el volumen de aplicación fueron controlados por el método gravimétrico mediante la toma de muestras de suelo por capas de 0,10 m hasta la profundidad de 0,60 m, el tratamiento control fue el *T1*.

La toma de muestras de suelo para conocer el contenido de humedad en el mismo se llevó a cabo en aquellos lugares libres de arvenses y alejados de los árboles de sombra, procurando siempre que la extracción de agua fuera representativa de la zona de consumo del café. Estos valores se utilizaron en el balance hídrico que permitieron definir las necesidades del

The taking of soil samples to know the content of humidity was carried out in those places free of weeds and far from the shade trees, trying that the extraction of water were representative of the area of water consumption of the coffee tree. These values were used in the water balance that allowed defining the necessities of the system coffee-shadow trees in each phase. For the quantification of water balances through the Balance of Masses method, the general equation of balance and the calculation methods presented by López (2002) were used:

$$\Delta A = P + I - (DI + DS + ET) \quad (1)$$

where:  $\Delta A$  - variation in the water sheet stored until the depth considered for the balance (mm);  $P$  - precipitation (mm);  $I$  - water applied during irrigation (mm), corresponding to the irrigation dose applied according to the frequency used;  $DS$  - superficial drain, that was rejected for being a small and relatively plane area, also the water received ( $P+I$ ) did not surpass in any moment the sheet corresponding to the saturation of the soil;  $DI$  - internal drainage, determined as the integral of the drainage flow to the depth of the area considered for the balance ( $q_z$ ), in an interval of certain time ( $\Delta t = t_2 - t_1$ ).

$$(t = t_2 - t_1) : DI = \int_{t_1}^{t_2} q_z dt \cong (\bar{q} * z) \Delta t \quad (2)$$

where:  $q$  - flow in  $\text{cm} \cdot \text{day}^{-1}$ , calculated as:

$$q = -K(\theta) \frac{dH}{dZ} \quad (3)$$

where:

$K(\theta)$  - hydraulic conductivity not saturated ( $\text{cm} \cdot \text{day}^{-1}$ ) in function of the volumetric humidity ( $\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$ ).

It was determined starting from the curve tension-humidity adjusted to Van Genuchten model, that was substituted in the function of Mualem (1976, mentioned by López, 2002).

$dH/dZ$  - variation of total potential that, in this case, was considered as unitary gradient taking into account the high values of humidity that the management of located irrigation maintains.

Evapotranspiration ( $ET$ ) was obtained finding from the general expression of water balance (expression 1):

$$ET = P + I - (DI + DS - \Delta A) \quad (4)$$

To quantify the effect of water stress on agricultural production it was used the relationship between the relative yield decrease and the relative evapotranspiration deficit proposed by Stewart *et al.* (1977) and Doorenbos and Kassam (1986), that are related through an empiric factor denominated yield response factor or crop sensitivity factor to water deficit ( $K_y$ ):

$$K_y = \left[ 1 - \left( R / R_{\max} \right) \right] / \left[ 1 - \left( ET / ET_{\max} \right) \right] \quad (5)$$

Where:

$R$  - actual yield of the crop,  $t \text{ have}^{-1}$ ;

$R_{\max}$  - maximum yield obtained in the best treatment in a crop very adapted under excellent conditions, when

$ET = ET_{\max}$ ,  $t \text{ ha}^{-1}$ ;

sistema cafeto - arbolado en cada fase. Para la cuantificación de los balances hídricos por el método de Balance de Masas, se utilizó la ecuación general de balance y los métodos de cálculo según López (2002):

$$\Delta A = P + I - (DI + DS + ET) \quad (1)$$

donde:

$\Delta A$  - variación en la lámina almacenada hasta la profundidad considerada para el balance (mm);

$P$  - precipitación (mm);

$I$  - agua aplicada durante el riego (mm), correspondiente a la dosis de riego aplicada de acuerdo a la frecuencia empleada;

$DS$  - escurrimiento superficial, que fue despreciado por ser un área pequeña y relativamente plana, además los ingresos ( $P+I$ ) no sobrepasaron en ningún momento la lámina correspondiente a la saturación del suelo;

$DI$  - drenaje interno, determinado como la integral del flujo de drenaje a la profundidad de la zona considerada para el balance ( $q_z$ ), en un intervalo de tiempo determinado ( $\Delta t = t_2 - t_1$ ).

$$(t = t_2 - t_1) : DI = \int_{t_1}^{t_2} q_z dt \cong (\bar{q} * z) \Delta t \quad (2)$$

donde:

$q$  - flujo en  $\text{cm} \cdot \text{día}^{-1}$ , determinado como:

$$q = -K(\theta) \frac{dH}{dZ} \quad (3)$$

donde:

$K(\theta)$  - conductividad hidráulica no saturada ( $\text{cm} \cdot \text{día}^{-1}$ ) en función de la humedad volumétrica ( $\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$ ).

Esta se determinó a partir de la curva tensión-humedad ajustada al modelo de Van Genuchten que se substituyó en la función de Mualem (1976), citado por López (2002).

$dH/dZ$  - variación de potencial total, que en este caso se consideró como gradiente unitario dados los altos valores de humedad que mantiene el manejo del riego localizado.

La evapotranspiración ( $ET$ ) se obtuvo despejando de la expresión general de balance hídrico (expresión 1):

$$ET = P + I - (DI + DS - \Delta A) \quad (4)$$

Para cuantificar el efecto del estrés hídrico sobre la producción agrícola se utilizó la relación entre la disminución relativa del rendimiento y el déficit relativo de evapotranspiración propuesta por Stewart *et al.* (1977), y Doorenbos y Kassam (1986), que se relacionan a través de un factor empírico denominado factor de respuesta al agua o de sensibilidad al déficit hídrico de los cultivos ( $K_y$ ):

$$K_y = \left[ 1 - \left( R / R_{\max} \right) \right] / \left[ 1 - \left( ET / ET_{\max} \right) \right] \quad (5)$$

donde:

$R$  - rendimiento real del cultivo,  $t \text{ ha}^{-1}$ ;

$R_{\max}$  - rendimiento máximo obtenido en el mejor tratamiento de un cultivo bien adaptado en excelentes condiciones, cuando  $ET = ET_{\max}$ ,  $t \text{ ha}^{-1}$ ;

$ET$  - evapotranspiración real, mm;



$ET$  – actual evapotranspiration, mm;  $ET_{max}$  - maximum evapotranspiration obtained in the best treatment, mm;  
 $K_y$  - yield response factor or crop sensitivity factor to water deficit, non-dimensional.

$ET_{max}$  - evapotranspiración máxima obtenida en el mejor tratamiento, mm;  $K_y$  – factor de sensibilidad del cultivo al déficit hídrico, adimensional.

## RESULTS AND DISCUSSION

In Table 1 medium values of the crop sensitivity factor to water deficit ( $K_y$ ) for different coffee tree development stages are shown. It can be observed that the medium values of  $K_y$  in treatments 4 and 5, subjected to water deficit in the maturation-crop and vegetative phases, respectively, were the lowest, where the water deficit had little effect on the yield of the coffee.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 1 se muestran los valores medios del factor de sensibilidad al déficit hídrico ( $K_y$ ) para diferentes fases de desarrollo el café. Se puede observar que los valores medios de  $K_y$  en los tratamientos 4 y 5, sometidos a déficit hídrico en las fases de maduración-cosecha y vegetativa, respectivamente, fueron los más bajos, donde el déficit hídrico tuvo poco efecto sobre el rendimiento del café.

**TABLE 1. Medium values of evapotranspiration, yield, relative evapotranspiration deficit, relative yield decrease and sensitivity factor to water deficit of coffee tree**

**TABLA 1. Valores medios de evapotranspiración, rendimiento, déficit relativo de evapotranspiración, disminución relativa de rendimiento y factor de sensibilidad al déficit hídrico del café**

Treat.	ET	ET <sub>max</sub>	ET/ET <sub>max</sub>	R	R <sub>max</sub>	R/R <sub>max</sub>	(1-ET/ET <sub>max</sub> )	(1-R/R <sub>max</sub> )	K <sub>y</sub>
T2	472,7	1197,3	0,39	2,37	2,83	0,79	0,61	0,33	0,55
T3	649,1	1112,3	0,58	2,24	2,83	0,83	0,42	0,24	0,58
T4	996,6	1177,0	0,85	2,62	2,83	0,95	0,15	0,05	0,32
T5	910,4	1199,6	0,76	2,40	2,83	0,91	0,24	0,09	0,38
T6	504,2	1120,5	0,45	1,56	2,83	0,55	0,55	0,45	0,82

$ET, ET_{max}$ : real and maximum evapotranspiration (mm), respectively.  
 $R, R_{max}$ : Real and maximum yield (t ha<sup>-1</sup>), respectively.

Relative yield reduction was distinct in the phase of fructification-development of the fruit (T3) with a value of 0,58 similar to 0,55 obtained in the blossoming-fructification phase (T2), and coinciding with the results from Cordeiro *et al.* (1998), that obtained the biggest values in  $K_y$  in the phases blossoming and filling of the grain in bean cropping. It demonstrated that, although the values of  $K_y$  are below one, these are the phases of more sensitivity to the water deficit. Average value of crop sensitivity factor to water deficit ( $K_y$ ) in all the phases was of 0,52.

The value of  $K_y$  in the treatment with water deficit in all the phases (T6) was the greatest in relation to the rest of the treatments (0,82). This value of  $K_y$  suggests that for a planned water deficit of 50%, a relative yield decrease of 41% can be expected, what is equal to a prospective maximum yield of 1,66 t ha<sup>-1</sup>.

In Figure 1, the values of  $K_y$  for water deficit during different phases of coffee cycle of growth and development, are showed in a schematized way.

These results coincide with that outlined by Martin de Santa Olalla and Valero (1993) and Steduto *et al.* (2012); which affirm, considering the different stages of the biological cycle, that yield decreasing due to the water deficit, is relatively small for the vegetative stage of growth and maturation of the fruit or grain, according to the crop, and relatively higher for the stage of blossoming and formation of the crop.

La reducción relativa del rendimiento fue más acentuada en la fase de fructificación-desarrollo del fruto (T3) con un valor de 0,58, similar al 0,55 obtenido en la fase de floración-fructificación (T2), y coincidiendo con los resultados de Cordeiro *et al.* (1998), que obtuvieron los mayores valores de  $K_y$  en las fases floración y llenado del grano en el cultivo del frijol. Demostrando que, aunque los valores de  $K_y$  están por debajo de uno, estas son las fases de mayor sensibilidad al déficit hídrico. El valor promedio del factor de sensibilidad al déficit hídrico  $K_y$  en todas las fases fue de 0,52.

El valor de  $K_y$  en el tratamiento con déficit hídrico en todas las fases (T6) fue el mayor en relación al resto de los tratamientos (0,82). Este valor de  $K_y$  sugiere que para un déficit hídrico planificado de un 50%, se puede esperar una pérdida relativa de rendimiento de un 41%, lo que equivale a un rendimiento máximo esperado de 1,66 t ha<sup>-1</sup>.

En la Figura 2 se resume de forma esquematizada los valores de  $K_y$  para déficit hídrico durante diferentes fases del ciclo de crecimiento y desarrollo del café.

Estos resultados coinciden con lo planteado por de Santa Olalla y de Juan (1993), y Steduto *et al.* (2012), los cuales afirman, considerando las distintas etapas del ciclo biológico, que la disminución del rendimiento debido al déficit hídrico es relativamente pequeña para la etapa de crecimiento vegetativa y maduración del fruto o grano, según el cultivo, y relativamente mayor para la etapa de floración y formación de la cosecha.

Para el cultivo del café Rezende *et al.* (2010), plantean que el tamaño de los frutos está fuertemente influenciado por



For coffee crop Rezende *et al.* (2010) outline that the size of the fruits is strongly influenced by water conditions of the plant, since under appropriate conditions of humidity, the biggest expansion in the fruits that produces a bigger size happens.

las condiciones hídricas de la planta, puesto que en condiciones adecuadas de humedad ocurre la mayor expansión de los frutos, que se traduce en un mayor tamaño.

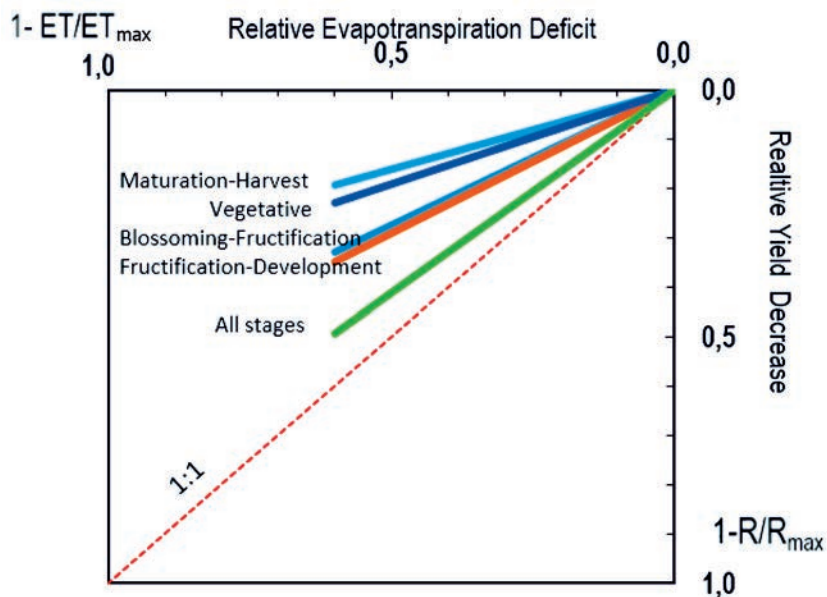


FIGURE 2. Relationship between relative yield decrease and relative evapotranspiration deficit for water deficit in different phases of coffee tree development. FIGURA 2. Relación entre la disminución relativa del rendimiento y el déficit relativo de evapotranspiración para déficit en diferentes fases de desarrollo del café.

According to studies of Rena and Maestri (2000), water is responsible for the expansion of the endocarp through the pressure of emergence before the lignification, influencing in the size of the seed. On the other hand Camargo (1985) outlines that the occurrence of water stress in the plant during the phase of fructification-development of the fruit delays its growth and increase the percentage of vain grains.

The effect of water stress was also observed by Net Bonfim (2006) in an experiment in Minas Gerais, where he checked that irrigated parcels had an increment of 35% of productivity of grains of greater size.

All the above-mentioned correspond with that outlined by Carvajal (1984) and Gómez *et al.* (2007), referring to that in the emergence of vain grains, malnutrition (fertilization and absorption of nutritious via water) plays an important role.

In FAO publications of reference for these studies (Bulletin FAO 33, Doorenbos and Kassam, 1986; Steduto *et al.*, 2012), values of sensitivity factor are not informed for coffee tree, consequently in this work it was not possible to establish comparisons with other authors, and the results obtained can constitute reference values for future investigations in Cuba.

## CONCLUSIONS

- The values of coffee tree yield response factor ( $K_y$ ), in all treatments studied, were inferior to 1, indicating that coffee tree is tolerant to water deficit and it recovers partially from the stress.
- The sensitivity factor to water deficit ( $K_y$ ) in the different development phases of coffee tree varied in the following

Según estudios de Rena y Maestri (2000), el agua es responsable de la expansión del endocarpio a través de la presión de turgencia ejercida antes de la lignificación, influyendo en el tamaño de la semilla. Por otra parte Camargo (1985), plantea que la ocurrencia de estrés hídrico en la planta durante la fase de fructificación-desarrollo del fruto, atrasa su crecimiento y aumenta el porcentaje de granos vanos.

El efecto del estrés hídrico fue observado también por Bomfim-Neto (2006), en un experimento en Minas Gerais donde comprobó que las parcelas regadas tuvieron un incremento del 35% de productividad de granos de mayor tamaño.

Todo lo anterior se corresponde con lo planteado por Carvajal (1984), y Gómez *et al.* (2007), refiriéndose a que en el surgimiento de granos vanos juega un papel importante la desnutrición (fertilización y absorción de nutrientes por vía hídrica).

En publicaciones de la FAO de referencia para estos estudios (Doorenbos y Kassam, 1986; Steduto *et al.*, 2012), no se informan valores del factor de sensibilidad para el café, por lo que en este trabajo no fue posible establecer comparaciones con otros autores, por lo que los resultados obtenidos pueden constituir valores de referencia para futuras investigaciones en Cuba.

## CONCLUSIONES

- Los valores del factor de respuesta del rendimiento ( $K_y$ ) del café, en todos los tratamientos estudiados, fueron inferiores a 1, indicando que el café es tolerante al déficit hídrico y se recupera parcialmente del estrés.
- La sensibilidad al déficit hídrico ( $K_y$ ) en las diferentes fases de desarrollo del café varió en el siguiente orden: déficit en

order: deficit in all phases > deficit in the phase of fructification development of the fruit > deficit in the phase of blossoming-fructification > deficit in vegetative phase > deficit in maturation-harvest phase.

- The yield response factor or sensitivity factor ( $K_y$ ) obtained for this crop is less than proportional to the water deficit, factor that has not been published in the literature, therefore it constitutes a contribution and a reference value for other studies under the pedological conditions of Cuba.

todas las fases > déficit en la fase de fructificación desarrollo del fruto > déficit en la fase de floración-fructificación > déficit en la fase vegetativa > déficit en la fase de maduración-cosecha.

- El factor de respuesta del rendimiento o factor de sensibilidad ( $K_y$ ) obtenido para este cultivo resulta menos que proporcional al déficit hídrico, factor no publicado en la literatura por lo que constituye un aporte y un valor de referencia para otros estudios en las condiciones edafoclimáticas de Cuba.

## REFERENCES / REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN, R.G.; PEREIRA, D.; SMITH, M.: *Evapotranspiración del cultivo: guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*, Ed. FAO, Roma, 299 p., 2006, ISBN: 978-92-5-304219-7.
- BOMFIM-NETO, H.: “Influência de diferentes lâminas de irrigação na peneirado cafeeiro irrigado por gotejamento no cerrado de Minas Gerais”, En: *Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras*, Ed. Fundação Procafé, Brasil, pp. 304-305, 2006.
- CAMARGO, Â.P. de: “Florescimento e frutificação de café arábica nas diferentes regiões (cafeeiras) do Brasil”, *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 20(7): 831-839, 1985, ISSN: 1678-3921.
- CARVAJAL, J.F.: *Cafeto: cultivo y fertilización*, Ed. Instituto internacional de la potasa, Worblaufen-Bern, 254 p., 1984.
- CHATERLÁN, Y.: *Precisión en la estimación de las necesidades hídricas de los cultivos. Caso de estudio: cultivos de ajo y cebolla en las condiciones edafoclimáticas del sur de Artemisa*, Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola, Tesis de Doctorado, La Habana, Cuba, 156 p., 2012.
- CID, G.; LÓPEZ, T.; GONZÁLEZ, F.; HERRERA, J.; RUIZ, M.E.: “Características físicas que definen el comportamiento hidráulico de algunos suelos de Cuba”, *Revista Ingeniería Agrícola*, 2(2): 25-31, 2012, ISSN: 2227-8761.
- CORDEIRO, L.G.; BEZERRA, F.M.L.; SANTOS, J.J.A. dos; MIRANDA, E.P. de; CORDEIRO, L.G.; BEZERRA, F.M.L.; SANTOS, J.J.A. dos; MIRANDA, E.P. de: “Fator de sensibilidade ao déficit hídrico da cultura do feijão caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp)”, *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 2(2): 153-157, 1998, ISSN: 1415-4366, DOI: 10.1590/1807-1929/agriambi.v02n02p153-157.
- DE LA CASA, A.; OVANDO, G.: “Integración del Índice de Vegetación de la Diferencia Normalizada (NDVI) y del Ciclo Fenológico de Maíz para Estimar el Rendimiento a Escala Departamental en Córdoba, Argentina”, *Agricultura Técnica*, 67(4): 362-371, 2007, ISSN: 0365-2807, DOI: 10.4067/S0365-28072007000400004.
- DE SANTA OLALLA, M.F.M.; DE JUAN, V.J.A.: *Agronomía del riego*, Ed. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, España, 732 p., 1993, ISBN: 978-84-7114-425-6.
- DEHGHANISANI, H.; NAKHJAVANI, M.M.; TAHIRI, A.Z.; ANYOJI, H.: “Assessment of wheat and maize water productivities and production function for cropping system decisions in arid and semiarid regions”, *Irrigation and Drainage*, 58(1): 105-115, 2009, ISSN: 1531-0361, DOI: 10.1002/ird.397.
- DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H.: *Yield response to water*, ser. Irrigation and Drainage, no. ser. 33, Ed. FAO, Rome, Italy, 193 p., 1986.
- FABEIRO, C.C.; MARTÍN DE SANTA OLALLA, F.; LÓPEZ-URREA, R.: “Production of garlic (*Allium sativum* L.) under controlled deficit irrigation in a semi-arid climate”, *Agricultural Water Management*, 59(2): 155-167, 2003, ISSN: 0378-3774, DOI: 10.1016/S0378-3774(02)00125-7.
- FARRÉ, I.; FACI, J.M.: “Comparative response of maize (*Zea mays* L.) and sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) to deficit irrigation in a Mediterranean environment”, *Agricultural Water Management*, 83(1): 135-143, 2006, ISSN: 0378-3774, DOI: 10.1016/j.agwat.2005.11.001.
- FERREIRA, T.C.; GONÇALVES, D.A.: “Crop-yield/water-use production functions of potatoes (*Solanum tuberosum*, L.) grown under differential nitrogen and irrigation treatments in a hot, dry climate”, *Agricultural Water Management*, 90(1): 45-55, 2007, ISSN: 0378-3774, DOI: 10.1016/j.agwat.2007.02.012.
- GARG, N.K.; DADHICH, S.M.: “A proposed method to determine yield response factors of different crops under deficit irrigation using inverse formulation approach”, *Agricultural Water Management*, 137: 68-74, 2014, ISSN: 0378-3774, DOI: 10.1016/j.agwat.2014.02.008.
- HSIAO, T.C.; HENG, L.; STEDUTO, P.; ROJAS-LARA, B.; RAES, D.; FERERES, E.: “AquaCrop—The FAO Crop Model to Simulate Yield Response to Water: III. Parameterization and Testing for Maize”, *Agronomy Journal*, 101(3): 448-459, 2009, ISSN: 1435-0645, DOI: 10.2134/agronj2008.0218s.
- INSMET (INSTITUTO DE METEOROLOGÍA): *Certificado meteorológico*, no. 3, Inst. Instituto de Meteorología, Dim 030, La Habana, Cuba, 443 p., Meteoservice, 2011.

- KIPKORIR, E.C.; RAES, D.; MASSAWE, B.: "Seasonal water production functions and yield response factors for maize and onion in Perkerra, Kenya", *Agricultural Water Management*, 56(3): 229-240, 2002, ISSN: 0378-3774, DOI: 10.1016/S0378-3774(02)00034-3.
- LÓPEZ, T.: *Caracterización del movimiento del agua en suelos irrigados del Sur de La Habana: Constitución metodológica al procedimiento actual para la determinación de los balances hídricos*, 105pp., Instituto de Investigaciones Fundamentales de la Agricultura Tropical (INIFAT), Tesis de Doctorado, La Habana, Cuba, 2002.
- NAZEER, M.; ALI, H.: "Modeling the response of onion crop to deficit irrigation", *Journal of Agricultural Technology*, 8(1): 393-402, 2012, ISSN: 1686-9141.
- PEREIRA, L.S.; PAREDES, P.; CHOLPANKULOV, E.D.; INCHENKOVA, O.P.; TEODORO, P.R.; HORST, M.G.: "Irrigation scheduling strategies for cotton to cope with water scarcity in the Fergana Valley, Central Asia", *Agricultural Water Management*, 96(5): 723-735, 2009, ISSN: 0378-3774, DOI: 10.1016/j.agwat.2008.10.013.
- POPOVA, Z.; ENEVA, S.; PEREIRA, L.S.: "Model Validation, Crop Coefficients and Yield Response Factors for Maize Irrigation Scheduling based on Long-term Experiments", *Biosystems Engineering*, 95(1): 139-149, 2006, ISSN: 1537-5110, DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2006.05.013.
- RAES, D.; STEDUTO, P.; HSIAO, T.C.; FERERES, E.: *AquaCrop - Crop Water Productivity Model*, (Versión 3.1), Ed. FAO, Rome, Italy, 2010.
- RENA, A.B.; MAESTRI, M.: "Relações hídricas no cafeeiro", *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 7(1): 34-41, 2000, ISSN: 1415-4366, 1807-1929.
- REZENDE, F.C.; ARANTES, K.R.; OLIVEIRA, S. dos R.; FARIA, M.A. de: "Cafeeiro recepado e irrigado em diferentes épocas: produtividade e qualidade", *Coffee Science*, 5(3): 229-236, 2010, ISSN: 1984-3909.
- RODRIGUES, G.C.; PEREIRA, L.S.: "Assessing economic impacts of deficit irrigation as related to water productivity and water costs", *Biosystems Engineering*, 103(4): 536-551, 2009, ISSN: 1537-5110, DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2009.05.002.
- STEDUTO, P.; HSIAO, T.C.; FERERES, E.; RAES, D.: *Respuesta del rendimiento de los cultivos al agua*, [en línea], ser. Estudio FAO: Riego y Drenaje, no. ser. 66, Ed. FAO, Rome, Italy, 510 p., 2012, ISBN: 978-92-5-308564-4, Disponible en: <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=XF2015001461>, [Consulta: 22 de junio de 2016].
- STEWART, J.; HAGAN, R.; PRUITT, W.; DANIELSON, R.; FRANKLIN, W.; HANKS, R.; RILEY, J.; JACKSON, E.: *Optimizing crop production through control of water and salinity levels in the soil*, [en línea], Inst. Utah Water Res. Lab., Logan, Utah, 151 p., 1977, Disponible en: [http://digitalcommons.usu.edu/water\\_rep/67](http://digitalcommons.usu.edu/water_rep/67), [Consulta: 22 de junio de 2016].

---

**Received:** 20/10/2016.

**Approved:** 15/06/2017.

Felicit González-Robaina, Inv. Titular, Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric), Boyeros, La Habana. Cuba, E-mail: [dptoambiente4@iagric.cu](mailto:dptoambiente4@iagric.cu)

Enrique Cisneros-Zayas, E-mail: [dptoriegol@iagric.cu](mailto:dptoriegol@iagric.cu)

Eugenio Montilla, E-mail: [eugmonti@ula.ve](mailto:eugmonti@ula.ve)

Note: the mention of commercial equipment marks, instruments or specific materials obeys identification purposes, there is not any promotional commitment related to them, neither for the authors nor for the editor.



ORIGINAL ARTICLE | ARTÍCULO ORIGINAL

# New Criterion for Hydraulic Design of Central Pivot Irrigation System

## *Nuevo criterio para el diseño hidráulico del sistema de riego de pivote central*

Dr.C. Maiquel López-Silva<sup>I</sup>, Dr.C. Dayma Carmenates-Hernández<sup>I</sup>, Dr.C. Albi Mujica-Cervantes<sup>I</sup>,  
y Dr.C. Pedro Paneque-Rondon<sup>II</sup>

<sup>I</sup> Universidad de Ciego de Ávila (UNICA), Facultad de Ciencias Técnicas, Centro de Estudios Hidrotécnicos, Ciego de Ávila, Cuba.

<sup>II</sup> Universidad Agraria de La Habana (UNAH), San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba.

**ABSTRACT.** The hydraulic design of the central pivot irrigation system was carried out with groundwater extraction for maize cultivation. It was based on the integration of the characteristic curves of the aquifer, the well, the centrifugal pump and the pipes, considering hydrogeological, hydraulic, edaphic and agronomic variables, which generated a nonlinear equation, solved with the Newton Raphson's method to determine the design flow in the central pivot. The results obtained ratify the need to consider all factors to achieve an adequate hydraulic design, which contributes to save water and energy resources.

**Keywords:** design, central pivot, flow, characteristic curve

**RESUMEN.** Se realizó el diseño hidráulico del sistema de riego de pivote central con extracción de agua subterránea para el cultivo de maíz. Se fundamentó en la integración de las curvas características del acuífero, del pozo, de la bomba centrífuga y las tuberías, considerando las variables hidrogeológicas, hidráulicas, edáficas y agronómicas, que generaron una ecuación no lineal, solucionada con el método de Newton Raphson para determinar el caudal de diseño en el pivote central. Los resultados obtenidos ratifican la necesidad de considerar todos los factores para lograr un adecuado diseño hidráulico, que contribuye a un ahorro de los recursos hídricos y energéticos.

**Palabras clave:** diseño, pivote central, caudal, curva característica.

## INTRODUCTION

The proper design of the central pivot irrigation systems supplied with groundwater contributes to the rational use of water, energy and increased crop productivity (López *et al.*, 2011) in order to guarantee its safety and to face uncertainties associated with climate change (Steduto *et al.*, 2012).

Seasonal variations in the water table and well depletions due to pumping have negative impact on the correct design and operation of the central pivot irrigation system (Izquierdo *et al.*, 2015). They induce alterations in the operation point of the centrifugal pump and stimulate interference phenomenon between wells (Tarjuelo *et al.*, 2015), which cause variations in operating pressure of the central pivot and discharge flow by side emitters. (Moreno *et al.*, 2012).

## INTRODUCCIÓN

El diseño adecuado de los sistemas de riego de pivote central abastecido de agua subterránea contribuye al uso racional del agua, la energía y al aumento de la productividad del cultivo (López *et al.*, 2011) con el fin de garantizar su seguridad y enfrentar las incertidumbres asociadas al cambio climático (Steduto *et al.*, 2012).

Un aspecto que repercute negativamente en el correcto diseño y operación del sistema de riego del pivote central, son las variaciones estacionales en el nivel freático y el abatimientos del pozo producto al bombeo (Izquierdo *et al.*, 2015) que induce alteraciones en el punto de operación de la bomba centrífuga y estimula el fenómeno de interferencia entre pozos, lo que provoca variaciones en la presión de operación del pivote central y caudal descargado por los emisores en el lateral (Moreno *et al.*, 2012).



The design of the drive pipes and the irrigation side is important, because an oversizing in the pipe produces excess of speed and increase of energy loss, which implies an increase in the head of the system and the power absorbed by the pump to transpose the flow rate set at the pivot. In turn, it results in an over-dimensioning of the electric motor, which induces a reduction in the efficiency of the energy use, since loading below 75% of the nominal power requires more electric energy to produce the same mechanical energy (Kopp *et al.*, 2016).

In the 1990s González and Navarro made software called “PIVOT” for the design of central pivot irrigation systems, from the inflow and pressure required at the side end. It was directed at that time to systems of hydraulic and electric drive. Although that software considers the agronomic, edaphic and hydraulic aspects; it does not contemplate the hydrogeological parameter, and the hydraulic is not examined rigorously.

However, only a reference has been found by Moreno *et al.*, (2012) where he develops a methodology for the design of the central pivot taking into account the extraction of groundwater and its drive to the irrigation side, but it has as limitation that it does not consider well hydraulics in all its extension and it is restricted to periods tariffs of Spain.

In this sense, the objective of this work is to develop a new criterion for hydraulic design of the central pivot irrigation system, from the integration of the characteristic curves of the aquifer, the well, the centrifugal pump and the piping system to obtain the flow of design.

## METHODS

To facilitate the calculation procedure, the flow diagram of the hydraulic design of the central pivot irrigation system is shown, based on the integration of the characteristic curves involved in the design.

The starting point for the hydraulic design of the central pivot is to obtain the pivot intake flow for the crop in the period of maximum demand and it was determined by the following equation:

$$Q_{pivot} = 0,00277 \cdot \frac{N_n \cdot A}{Ea \cdot n_h} \quad (1)$$

Where:

$Q_{pivot}$  is the pivot intake flow ( $m^3 \cdot s^{-1}$ );  
 $N_n$  crop net requirements in the period of the highest demand ( $mm \cdot d^{-1}$ ), 6.5  $mm \cdot d^{-1}$  was evaluated;  
 $Ea$  irrigation application efficiency (decimal) was considered 82% for real field conditions according to López *et al.*, (2011);  
 $T$  the number of irrigation hours ( $h \cdot d^{-1}$ ).

The point of operation of the centrifugal pump was determined, it was the intersection of the characteristic curve of the system ( $H_s$ ) and the characteristic curve of the centrifugal pump ( $H_b$ ) that conforms to a second degree polynomial (Ferreira *et al.*, 2015) as the following equations are shown:

El diseño de las tuberías de impulsión y el lateral de riego es importante, debido a que, un sobredimensionamiento en la tubería produce exceso de velocidad y aumento de pérdida de energía, que implica aumento de la altura manométrica del sistema y de la potencia absorbida por la bomba para transponer el caudal establecido en el pivote. A su vez, repercute en un sobredimensionamiento del motor eléctrico, que induce la reducción en la eficiencia del uso de la energía, pues carga abajo del 75% de la potencia nominal requiere mayor cantidad de energía eléctrica para producir la misma energía mecánica (Kopp *et al.*, 2016).

En Cuba González y Navarro (1997) citado por Pérez (2003) realizaron un software denominado “PIVOT” para el diseño de los sistemas de riego de pivote central, a partir del caudal de entrada y presión necesaria en el extremo del lateral. Fue dirigido en esa época a sistemas de accionamiento hidráulico y eléctrico. Aunque este considera los aspectos agronómicos, edáficos e hidráulicos, no contempla el parámetro hidrogeológico y el hidráulico no es examinado rigurosamente.

Sin embargo, solo se ha encontrado una referencia de Moreno *et al.* (2012) donde desarrollan una metodología para el diseño del pivote central teniendo en cuenta la extracción de agua subterránea y su impulsión al lateral de riego, pero tienen como limitante que no consideran la hidráulica de pozo en toda su extensión y se restringe a períodos tarifarios de España. El objetivo de este trabajo es desarrollar un nuevo criterio para el diseño hidráulico del sistema de riego de pivote central, a partir de la integración de las curvas características del acuífero, el pozo, la bomba centrífuga y el sistema de tuberías para la obtención del caudal de diseño.

## MÉTODOS

El nuevo criterio para el diseño hidráulico del sistema de riego de pivote central para el cultivo de maíz, se fundamenta en la integración de las curvas características del acuífero, del pozo, de la bomba centrífuga y las tuberías, considerando las variables hidrogeológicas, hidráulicas, edáficas y agronómicas. En la Figura 1 se muestra el diagrama del diseño hidráulico para facilitar el procedimiento de cálculo.

El punto de partida para el diseño hidráulico del pivote central es obtener el caudal a la entrada del pivote para el cultivo en el período de máxima demanda y se determinó mediante la siguiente ecuación:

$$Q_{pivot} = 0,00277 \cdot \frac{N_n \cdot A}{Ea \cdot n_h} \quad (1)$$

donde:

$Q_{pivot}$  es el caudal a la entrada del pivote ( $m^3 \cdot s^{-1}$ );  
 $N_n$  las necesidades netas del cultivo en período de mayor demanda ( $mm \cdot d^{-1}$ );  
 $Ea$  la eficiencia de aplicación del riego (decimal), se consideró 82% para condiciones reales de campo según (López *et al.*, 2011);  
 $n_h$  el número de horas de riego ( $h \cdot d^{-1}$ ).

Se determinó el punto de operación de la bomba centrífuga, siendo este, la intersección de la curva característica del sistema ( $H_s$ ) y la curva característica de la bomba centrífuga ( $H_b$ ) que se ajusta a un polinomio de segundo grado (Ferreira *et al.*, 2015) según se muestran las siguientes ecuaciones:

$$H_s = H_b \tag{2}$$

$$H_s = h_g + S_T + P_p + hf_{sil} \tag{3}$$

$$H_b = D + EQ + FQ^2 \tag{4}$$

Where:

- $H_b$  is manometric height of the pump (m);
- $H_s$  manometric height to be overcome by the pump (m);
- $Q$  flow rate of the centrifugal pump ( $m^3 s^{-1}$ );
- $D, E, F$ , curve fitting coefficients;  $h_g$  suction height of the static water level in the well (m);
- $S_T$  total water withdrawal at the well (m);
- $P_p$  pressure at the pivot (m) and  $hf_{sil}$  friction load losses in the suction pipe, drive and accessories (m).

$$H_s = H_b \tag{2}$$

$$H_s = h_g + S_T + P_p + hf_{sil} \tag{3}$$

$$H_b = D + EQ + FQ^2 \tag{4}$$

donde:

- $H_b$  es la altura manométrica de la bomba (m);
- $H_s$  la altura manométrica que debe vencer la bomba (m);
- $Q$  el caudal de la bomba centrífuga ( $m^3 \cdot s^{-1}$ );
- $D, E, F$ , los coeficientes de ajuste de la curva;
- $h_g$  la altura de succión del nivel estático del agua en el pozo (m);
- $S_T$  el abatimiento total del agua en el pozo (m);
- $P_p$  la presión en el pivote (m);
- $hf_{sil}$  las pérdidas de carga por fricción en la tubería de succión, impulsión y accesorios (m).

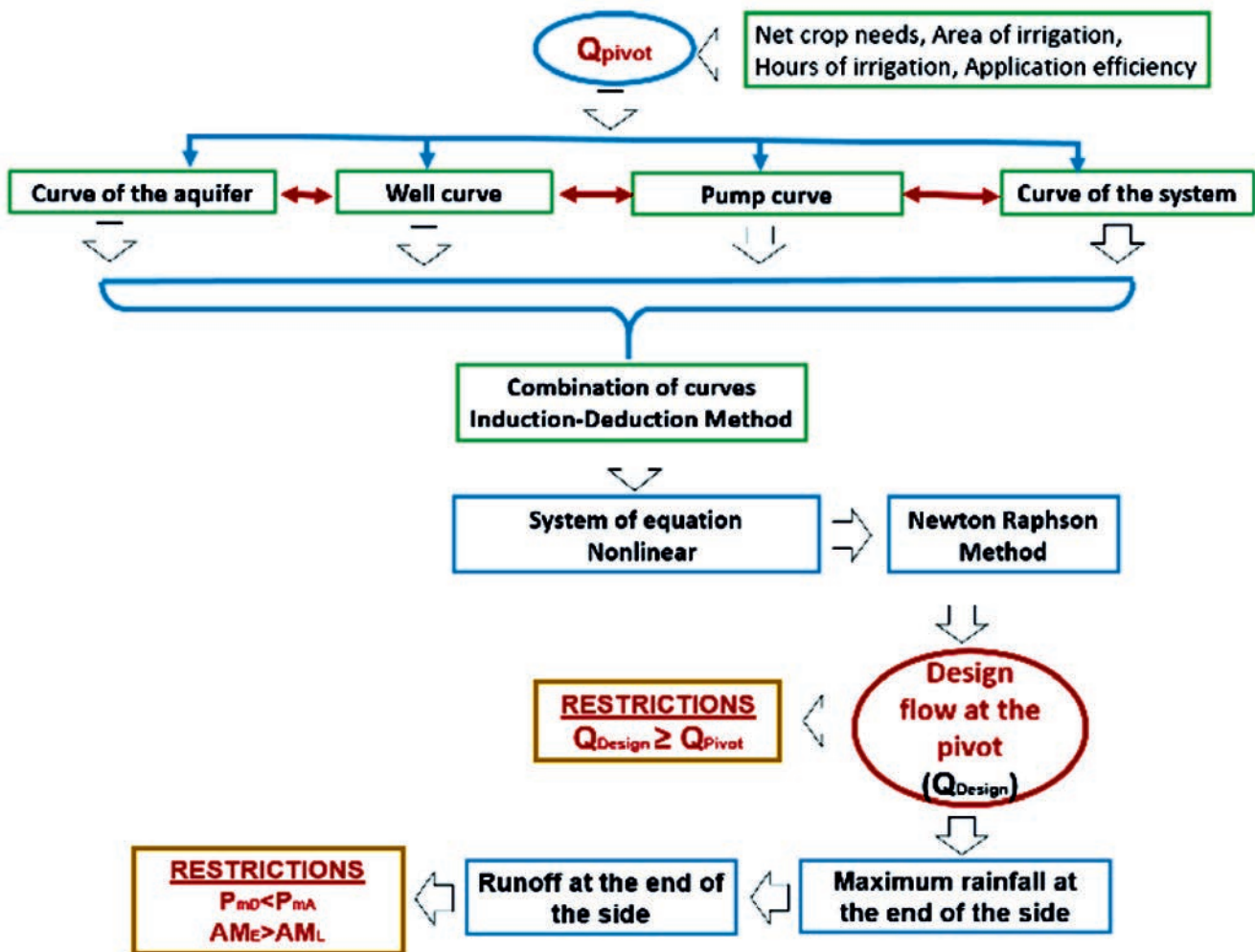


FIGURE 1. Diagram of the central pivot hydraulic design  
 FIGURA 1. Diagrama del diseño hidráulico del pivote central.

Curve fitting coefficients in equation (4) are obtained from the characteristic curve of the centrifugal pump provided by the manufacturer and a series of points ( $H_i$  vs  $Q_i$ ) are selected, applying the method of least squares adjustment.

To obtain the total water withdrawal in the well in equation (3), it was assumed that the type of aquifer is free and there is

Los coeficientes de ajuste de la curva en la ecuación (4) se obtiene de la curva características de la bomba centrífuga que proporciona el fabricante y se seleccionan una serie de puntos ( $H_i$  vs  $Q_i$ ), que se le aplica el método de los mínimos cuadrados con ajuste estadístico.

Para obtener el abatimiento total del agua en el pozo en la ecuación (3) fue mediante el supuesto que el tipo de acuífero es

a linear flow in steady state, using the equation proposed by Vatankhah (2014) that in a simplified way is proposed by the following equation:

$$S_T = \frac{Q}{2\pi \cdot T} \ln \frac{2,246 \cdot T \cdot t_f}{r_p^2 \cdot E} + CQ^2 \quad (5)$$

Where:

$S_T$  is total water withdrawal of the well (m);  
 $Q$  flow rate of the pump ( $m^3 s^{-1}$ );  
 $T$  transmissivity ( $m^2 s^{-1}$ );  $t_f$  operating time of the pump (s);  
 $r_p$  well radius (m);  
 $E$  coefficient of storage (dimensionless);  
 $CQ^2$  water withdrawal in the well (m), C value was determined by the criterion of Walton (1960).

The pressure in the central pivot was determined in equation (4), taking into account the type of emitter on the side, the length and diameter of the side pipe; as well as the height of the pivot and the topographic difference (López, 2015), which is expressed by the following equation:

$$P_p = P_o + hf_T + h_p + \Delta Z \quad (6)$$

Where:

$P_p$  is pressure at the pivot (m);  
 $P_o$  operating pressure of the last emitter on the side (m);  
 $hf_T$  total friction loss on the side;  
 $h_p$  pivot height (m) and  $\Delta Z$  topographic difference between the pivot point and the side end (m), which was considered to be level relive.

The friction load losses in the suction and discharge piping were calculated by Darcy-Weisbach's method and the friction factor by Swamer and Jain's equation considering the same suction and discharge diameters (Mantovani *et al.*, 2012). While total friction load losses on the central pivot side, were calculated from Hazen William's equation with the formulated correction factor (Alazba *et al.*, 2012).

The central pivot design flow rate for the specific operating conditions is obtained from the combinations of the characteristic curves by the induction-deduction method of formulas (5) and (6), substituted in equations (3) and (4), and later in (2) form a non-linear equation, whose solution is by Newton Raphson's method. This design flow obtained must be equal to or greater than 10% of the pivot intake flow obtained by equation (1) to satisfy net requirements of the crop in the period of greatest demand.

The maximum rainfall in the central pivot from the design flow rate was determined by the theory of Dillon *et al.*, (1972), assuming that the water distribution model is elliptical, is expressed by the following equation:

$$P_{mD} = \frac{28800 \cdot Q \cdot Pe}{\pi \cdot R_r \cdot AM_E} \quad (7)$$

Where:

$P_{mD}$  is the maximum rainfall at the side end ( $mm h^{-1}$ );  
 $Q$  flow rate of the pump ( $L s^{-1}$ );  $R_r$  irrigated radius of the central pivot (m);

libre y existe un flujo lineal en régimen permanente, mediante la fórmula propuesta por Vatankhah (2014) que de forma simplificada se plantea mediante la siguiente ecuación:

$$S_T = \frac{Q}{2\pi \cdot T} \ln \frac{2,246 \cdot T \cdot t_f}{r_p^2 \cdot E} + CQ^2 \quad (5)$$

donde:

$S_T$  es el abatimiento total del pozo (m);  
 $T$  la transmisividad ( $m^2 \cdot s^{-1}$ );  
 $t_f$  el tiempo de funcionamiento de la bomba (s);  
 $r_p$  el radio del pozo (m);  
 $E$  el coeficiente de almacenamiento (adimensional);  
 $CQ^2$  el abatimiento en el pozo (m), el valor de C se determinó por el criterio de Walton (1991).

Se obtuvo la presión en el pivote central en la ecuación (3), teniendo en cuenta el tipo emisor en el lateral, la longitud y diámetro de la tubería del lateral; así como la altura del pivote y el desnivel topográfico, que se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$P_p = P_o + hf_T + h_p + \Delta Z \quad (6)$$

donde:

$P_o$  la presión de funcionamiento del último emisor en el lateral (m);  
 $hf_T$  la pérdida de carga total por fricción en el lateral;  
 $h_p$  la altura del pivote (m) y  $\Delta Z$  el desnivel topográfico entre el punto del pivote y la extremidad del lateral (m), siendo este relativamente llano.

Las pérdidas de carga por fricción en la tubería de succión e impulsión, se calculó por el procedimiento de Darcy-Weisbach y el factor de fricción por la ecuación de Swamer y Jain, considerando los diámetros de succión e impulsión iguales (Mantovani *et al.*, 2012). Mientras que, las pérdidas de carga total por fricción en el lateral del pivote central, se calculó a partir de la ecuación de Hazen William con el factor de corrección formulado (Alazba *et al.*, 2012).

El caudal de diseño del pivote central para las condiciones específicas de explotación, es obtenido a partir de las combinaciones de las curvas características por el método inducción-deducción de las ecuaciones (5) y (6) sustituidas en las ecuaciones (3) y (4) y posteriormente en la (2) forman una ecuación no lineal, cuya solución es mediante el método de Newton Raphson. Este caudal de diseño obtenido debe ser igual o superior hasta un 10% del caudal a la entrada del pivote obtenido mediante la ecuación (1) para satisfacer las necesidades netas del cultivo en el período de mayor demanda.

La pluviosidad máxima en el pivote central a partir del caudal de diseño se determinó por la teoría de Dillon *et al.* (1972), suponiendo que el modelo de reparto de agua es elíptico, pudiéndose representar mediante la siguiente ecuación:

$$P_{mD} = \frac{28800 \cdot Q \cdot Pe}{\pi \cdot R_r \cdot AM_E} \quad (7)$$

donde:

$P_{mD}$  es la pluviosidad máxima en el extremo del lateral ( $mm h^{-1}$ );  
 $Q$  el caudal de la bomba centrífuga ( $L s^{-1}$ );  
 $R_r$  el radio regado del pivote central (m);

$AM_E$  width wetted by the last emitters (m), it was selected by the type of emitter and  $Pe$  proportion of water reaching the ground surface (decimal), defined as 0,95 for the case study.

The maximum rainfall that the central pivot can provide was determined by the algorithm simplified by Pérez and Martínez (2004), which is expressed by the following equations:

$$i = K \cdot t^n \quad (8)$$

$AM_E$  la anchura humedecida por los últimos emisores (m), esta fue seleccionada por el tipo de emisor y  $Pe$  la proporción del agua que llega a la superficie del suelo (decimal), definido como 0,95 para el caso de estudio.

Se determinó la máxima pluviosidad que puede proporcionar el pivote central mediante el algoritmo simplificado por Pérez y Martínez (2004) que se expresa mediante las siguientes ecuaciones:

$$i = K \cdot t^n \quad (8)$$

$$P_{mA} = \frac{1}{\left\{ \frac{\frac{SR}{K} + \left[ 1.05 - 1.6 \left( \frac{\pi}{2} \right)^2 \left( \frac{D_A}{Dba} - 0.5 \right)^2 \right]^{1/2}}{(D_A - AS)^{n/(n+1)} \cdot (n+1)^{n/(n+1)} \cdot K^{n/(n+1)}} \right\}} \quad (9)$$

$$D_A = Dba \cdot \frac{1}{2} \left\{ (n+1) \left( \frac{AS}{Dba} + 0.5 \right) - n + \sqrt{\left[ n - (n+1) \left( \frac{AS}{Dba} + 0.5 \right) \right]^2 - 4 \left[ 0.25 \left( 2(n+1) \left( \frac{AS}{Dba} \right) - n \right) + 0.656 \cdot n \left( \frac{2}{\pi} \right)^2 \right]} \right\} \quad (10)$$

Where:

- $i$  is speed of infiltration ( $\text{mm min}^{-1}$ );
- $K$  and  $n$  experimental coefficients of Kostiakov's equation fitting, for the study case  $24,80 \text{ mm min}^{-1}$  and  $0,3236$ , respectively, in typical Ferralitic Red Soil according to Pérez and Martínez (2004);
- $t$  time elapsed since the beginning of water application at a point (min);
- $P_{mA}$  maximum rainfall the central pivot can provide ( $\text{mm min}^{-1}$ );
- $SR$  sealing factor, considered  $0,16$  for alfalfa stubble according to Tarjuelo (2005);
- $AS$  surface storage capacity of the soil;
- $D_A$  sheet of water applied to the ground in a time (mm) and  $Dba$  applied gross sheet (mm), considered  $10 \text{ mm}$  according to Tarjuelo (2005).

The minimum time of irrigation and the minimum speed of advance of the last tower on a point of the terrain were calculated so that the runoff does not occur in the elliptical model, from the following expressions:

$$t_p = \frac{4Dba}{\pi P_{mA}} \quad (11)$$

$$V = \frac{2\pi \cdot L_t \cdot N_n}{60 \cdot EDa \cdot Dba \cdot T_d} \quad (12)$$

$$T_d = \frac{2,784 \cdot N_n \cdot A}{Ea \cdot Q} \quad (13)$$

$$AM_L = t_p \cdot V \quad (14)$$

donde:

- $i$  es la velocidad de infiltración ( $\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$ );
- $K$  y  $n$  los coeficientes experimentales de ajuste de la ecuación de Kostiakov;
- $t$  el tiempo transcurrido desde que comienza la aplicación de agua en un punto (min);
- $P_{mA}$  la máxima pluviosidad que puede proporcionar el pivote central ( $\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$ );
- $SR$  el factor de sellado, considerado  $0,16$  para restrojo de alfalfa según Tarjuelo (2005);
- $AS$  capacidad de almacenamiento superficial del suelo;
- $D_A$  la lámina de agua aplicada al terreno en un tiempo (mm);
- $Dba$  la lámina bruta aplicada (mm), considerada  $10 \text{ mm}$  según Tarjuelo (2005).

Se calculó el tiempo mínimo de riego y la velocidad mínima de avance de la última torre sobre un punto del terreno para que no se produzca la escorrentía en el modelo elíptico, a partir de las siguientes expresiones:

$$t_p = \frac{4Dba}{\pi P_{mA}} \quad (11)$$

$$V = \frac{2\pi \cdot L_t \cdot N_n}{60 \cdot EDa \cdot Dba \cdot T_d} \quad (12)$$

$$T_d = \frac{2,784 \cdot N_n \cdot A}{Ea \cdot Q} \quad (13)$$

$$AM_L = t_p \cdot V \quad (14)$$



Where:

$t_p$  is the time of water distribution in passing the side end over a point (min);

$V$  minimum speed of the last tower (m min<sup>-1</sup>);

$T_d$  time the side emitter takes to apply an irrigation per day (h d<sup>-1</sup>);

$AML$  minimum wetted strip at the side end (m);

$DBa$  applied gross sheet (mm);  $PmA$  maximum rainfall allowed by the soil (mm min<sup>-1</sup>L;  $L_t$  distance from central pivot to the last tower (m);  $Nn$  crop net requirements in period of maximum demand (mm d<sup>-1</sup>);  $EDa$  water distribution efficiency (decimal);  $DBa$  applied gross sheet (mm);  $A$  area of irrigation (ha);  $E$  application efficiency (decimal) and  $Q$  low rate of the centrifugal pump (L s<sup>-1</sup>)

It is shown an example of the hydraulic design of the central pivot irrigation system with extraction of groundwater, from a free aquifer, with a well with a radius of 0,2 m, storage coefficient of 0,09599, hydraulic conductivity of 76,03 m d<sup>-1</sup> and transmissivity of 1,36×10<sup>-2</sup> m<sup>2</sup> s<sup>-1</sup>; as well as several scenarios of water table levels from 17 m, which could grow or decrease by 10, 30, 60 and 75%.

The lateral of the pivot with a length of 451 m, which represents an area under economic irrigation of 63,87 ha according to Montero *et al.*, (2012) and commercial diameters of 101,6 mm; 127,0 mm; 168,30 mm; 219,10 mm; 254,0 mm; as well as the most used emitters in the national and international market Cuban diffuser nozzle, Spray, Rotator and Wobbler. The characteristic curves of the deep well vertical pumps used were the IDEAL series VG 250 / 3F to 6F at 60 Hz.

## RESULTS AND DISCUSSION

### Centrifugal pump and central pivot

It was determined that the minimum flow that must circulate through the central pivot to meet the water requirements of corn crop was 70,10 L s<sup>-1</sup>. An amount of 345 possible combinations were made between pump characteristic curves, water table in the well, commercial pipe diameters and lengths of the pivot side and their respective types of emitters, which compensates for the minimum flow that must flow through the central pivot and meet the crop water needs.

The most suitable pump was of type VG 125 / 4F with drive pipe nominal diameter of 200 mm and 8 m of length. The side of the central pivot was the one of 8 towers of 55 m, with an 11 m eave and diameter of 168,30 mm (65/8") and 101,60 mm (4") respectively. This result agrees with the study by Montero *et al.*, (2012), in which the lateral diameters of 168,3 mm were the most economical for the areas between 40 and 75 ha.

The central pivot irrigation system presented a hydro module of 1,20 L s<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup> for an operating time of 20 h d<sup>-1</sup>, however, it differs from the values obtained by Moreno *et al.*, (2012) with hydro module of 1,50 L s<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup> and 18 h d<sup>-1</sup>. That demonstrates the need to consider in the designs of the central pivot, all the elements involved in the specific conditions of exploitation.

### Centrifugal pump operating point and groundwater

Table 1 shows the operating points of the irrigation system according to the emitter used in the central pivot. It is observed

donde:

$t_p$  es el tiempo de reparto de agua en pasar el extremo del lateral sobre un punto (min);

$V$  es la velocidad mínima de la última torre (m·min<sup>-1</sup>);

$T_d$  el tiempo que demora el lateral en aplicar un riego al día (h·d<sup>-1</sup>);

$AML$  es la franja mínima humedecida en el extremo del lateral (m);

$L_t$  distancia del centro pivote hasta la última torre (m);

$EDa$  la eficiencia de distribución del agua (decimal).

El criterio del diseño hidráulico del sistema de riego de pivote central con extracción de agua subterránea, se aplicó a un acuífero libre, con un pozo de radio de 0,2 m, el coeficiente de almacenamiento de 0,09599, la conductividad hidráulica de 76,03 m·d<sup>-1</sup> y la transmisividad de 1,36×10<sup>-2</sup> m<sup>2</sup>·s<sup>-1</sup>; así como 10 escenarios de los niveles freáticos del pozo a partir de los 17 m, que podrían crecer o decrecer en un 10, 30, 60 y 75%. Mientras que el área de riego fue de 64 ha para el cultivo de maíz con una evapotranspiración de 6,5 mm·d<sup>-1</sup> en un suelo Ferralítico Rojo Típico con coeficientes experimentales de ajuste de la ecuación de Kostiakov de  $K$  y  $n$  de 24,80 mm·min<sup>-1</sup> y 0,3236 respectivamente según Pérez y Martínez (2004).

Se analizaron los diámetros comerciales más utilizados para los laterales del pivote central de 101,6 mm; 127,0 mm; 168,30 mm; 219,10 mm; 254,0 mm; así como los emisores más empleados como la boquilla difusora cubana, el Spray, el Rotator y el Wobbler. La curvas características de las bombas verticales de pozo profundo empleadas fueron del tipo IDEAL serie VG 250/3F a 6F a 60 Hz.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Bomba centrífuga y pivote central

A partir de los niveles freáticos en el pozo, los diámetros y longitudes comerciales de las tuberías del lateral del pivote y sus respectivos tipos de emisores, para que compense el caudal mínimo que debe circular por el pivote central y satisfacer las necesidades hídricas del cultivo se realizaron 345 combinaciones. Los resultados proporcionaron que el caudal mínimo que debe circular por el pivote central fuese de 70,10 L·s<sup>-1</sup>. Siendo seleccionada la bomba del tipo VG 125/4F con diámetro nominal de la tubería de impulsión de 200 mm y 8 m de longitud. El lateral del pivote central fue el de 8 torres de 55 m, con un alero de 11 m y diámetro de 168,30 mm (65/8") y 101,60 mm (4") respectivamente. Este resultado concuerda con el estudio realizado por Montero *et al.* (2012) en el que demostraron que los diámetros del lateral de 168,3 mm es el más adecuado y económico para las áreas entre 40 a 75 ha.

El sistema de riego de pivote central presentó un hidromódulo de 1,20 L s<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup> para un tiempo de funcionamiento de 20 h·d<sup>-1</sup>; sin embargo, difiere de los valores obtenidos por Moreno *et al.* (2012) con hidromódulo de 1,50 L·s<sup>-1</sup>·ha<sup>-1</sup> y 18 h·d<sup>-1</sup>. Esto demuestra, la necesidad de considerar en los diseños del pivote central todos los elementos involucrados en las condiciones específicas de explotación.

### Punto de operación de la bomba centrífuga y niveles freáticos

En la Tabla 1 se muestran los puntos de operación del sistema de riego según el emisor empleado en el pivote central. Se

that the central pivot equipped with the Rotator emitter obtains the lowest flow rate at the pivot of 77,05 L s<sup>-1</sup>, it is closer to the minimum flow rate to meet the corn crop net requirements in the highest demand period of 70,10 L s<sup>-1</sup>. However, it requires the highest manometric height of the pump, which allows the lowest pump power to be used with the highest efficiency for specific operating conditions.

observa que el pivote central dotado del emisor Rotator obtiene el menor caudal en el pivote de 77,05 L·s<sup>-1</sup>, éste se aproxima más al caudal mínimo para satisfacer las necesidades netas del cultivo de maíz en período de mayor demanda de 70,10 L·s<sup>-1</sup>. Sin embargo, necesita la mayor altura manométrica de la bomba, que permite emplear la menor potencia de la bomba con la mayor eficiencia para las condiciones específicas de explotación.

**TABLE 1. Operating point of the irrigation system according to the type of emitter**  
**TABLA 1. Punto de operación del sistema de riego según el tipo de emisor**

Parameter	Type of emitter			
	Cuban diffuser nozzle	Spray	Rotator	Wobbler
Q (L/s)	78,74	81	77,05	79,27
H <sub>b</sub> (m)	80,67	78,7	82,1	80,21
η <sub>b</sub> (%)	81,9	81,17	82,34	81,75
P (kW)	76,08	77,04	75,37	76,3

Figures 2 and 3 show the operating points of the characteristic curves of the pump and the water tables according to the types of emitters. It is observed how the points of operation move as they rise and fall in the phreatic levels, but they are more significant when they are ascendant from 10%. This factor has an effect on an increase of the flow rate and decrease of the manometric height and efficiency of the pump, which adversely influences the irrigation efficiency; however decreases the power exerted by the centrifugal pump and consequently the energy consumption.

En las Figuras 2 y 3 se muestran los punto de operación de las curvas características de la bomba y los niveles freáticos según tipos de emisores. Se observan como los puntos de operación se desplazan según se alteran los niveles freáticos, pero son más significativos cuando estos son ascendentes a partir de un 10%. Este factor repercute en un aumento del caudal y disminución de la altura manométrica y eficiencia de la bomba, que influye desfavorablemente en la eficiencia del riego; sin embargo disminuye la potencia que ejerce la bomba centrífuga y consecuentemente el consumo de energía.

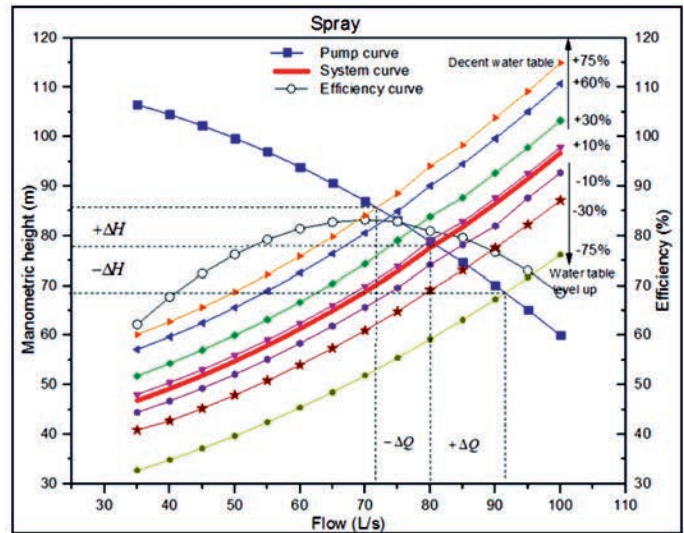
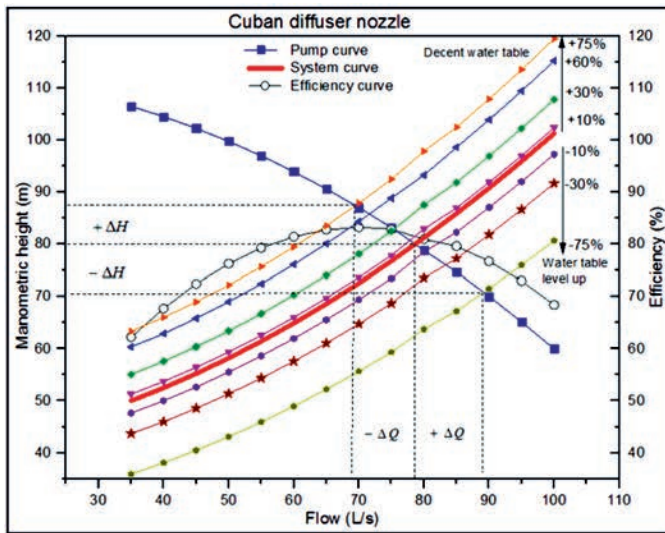


FIGURE 2. Operation point on the pump characteristic curve with the emitter Cuban diffusing nozzle and Spray  
 FIGURA 2. Punto de operación en la curva característica de la bomba con el emisor boquilla difusora cubana y el Spray.

In this specific case it is observed in Figures 2 and 3 that the advantage of the water table is decreasing, is that according to the efficiency curve of the centrifugal pump it improves as the percentage decreases from the level of the well.

Se observa en la Figura 2 que el punto de operación del sistema de riego acoplado con el emisor Spray se desplaza con más facilidad a partir del 10% del nivel freático ascendente, que respecto al de la boquilla difusora cubana. El caudal empleado por el pivote con emisor Spray supera el caudal de la boquilla difusora cubana en 4,34%; sin embargo, disminuye su altura manométrica en 3,23%.

It is observed in Figure 2 that the operating point of the irrigation system coupled with the Spray emitter is more easily displaced from 10% of the water table level than with the diffusion nozzle. The flow rate used by the pivot with

Se observa en la Figura 3 que el punto de operación del sistema de riego acoplado con el emisor Wobbler se desplaza con más facilidad a partir del 10% del nivel freático ascendente, que respecto al



Spray emitter exceeds the flow rate of the Cuban diffusing nozzle at 4,34%; however, it decreases its manometric height by 3,23%.

Rotator. El caudal empleado por el pivote con emisor Wobbler supera el caudal del Rotator en 3,45%; sin embargo, en ambos emisores la altura manométrica es prácticamente estable en solo 0,5%.

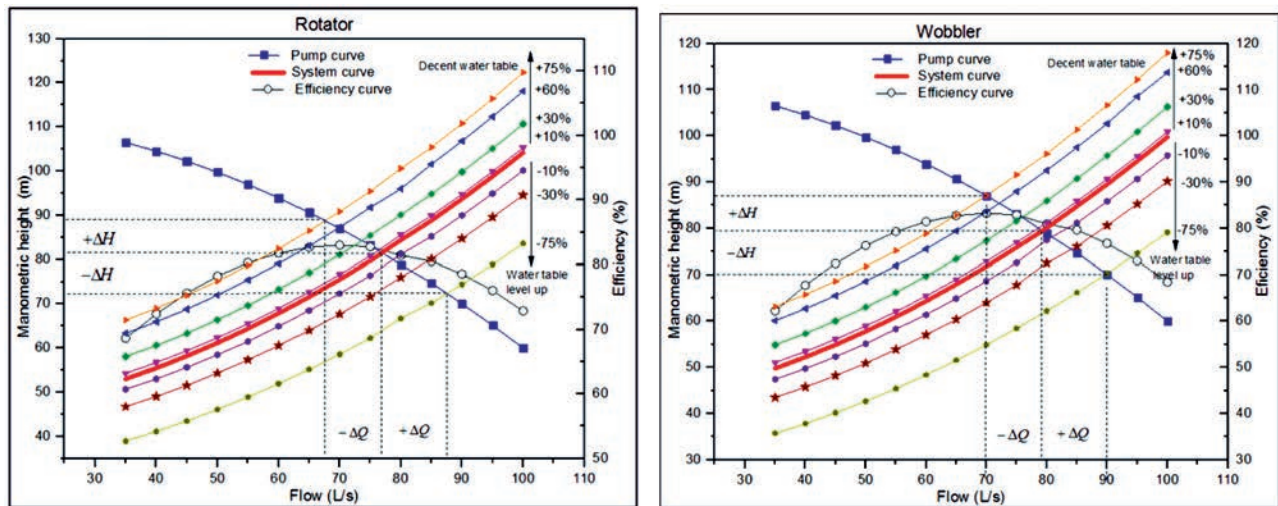


FIGURE 3. Operating point in the characteristic curve of the pump with the Rotator and Wobbler emitter  
 FIGURA 3. Punto de operación en la curva característica de la bomba con el emisor Rotator y Wobbler.

It can be observed in Figure 3 that the operating point of the irrigation system coupled with the Wobbler emitter moves more easily from 10% of the water table level than with respect to the Rotator. The flow used by the pivot with Wobbler emitter exceeds the flow of the Rotator in 3,45%; however, in both emitters the manometric height is practically stable in only 0,5%.

El análisis del punto de operación del sistema permite conocer el caudal real que está siendo bombeado, la altura manométrica y la energía consumida para cualquier nivel freático, lo que posibilita ajustar el caudal para el punto de operación deseado, mejorando la eficiencia del sistema.

The analysis of the operating point of the system allows knowing the actual flow being pumped, the manometric height and the energy consumed for any water table, from there; it is possible to adjust the flow rate for the desired operating point, which improves the efficiency of the system.

Se muestra en la Figura 4 la potencia y eficiencia de la bomba centrífuga en función del nivel freático del pozo. Se observa como repercute las fluctuaciones de los niveles freáticos del pozo en el consumo de potencia y eficiencia de la bomba centrífuga.

The power and efficiency of the centrifugal pump in function of the well water table are shown in Figure 4. It is observed how the fluctuations of the water table of the well affect the consumption of power and efficiency of the centrifugal pump.

Se observa en la Figura 4 que cuando el nivel freático asciende a más del 10% del nivel estático, aumenta la potencia de la bomba a 0,5 kW por cada 10% que asciende el nivel freático en el pozo, no siendo significativo el aumento de la eficiencia de la bomba. Es este aspecto, si el motor eléctrico no fue calculado para transmitir mayor potencia a la bomba centrífuga, trabajará en sobre carga y podrá averiarse, además de consumir más energía eléctrica de acuerdo con Tarjuelo (2005).

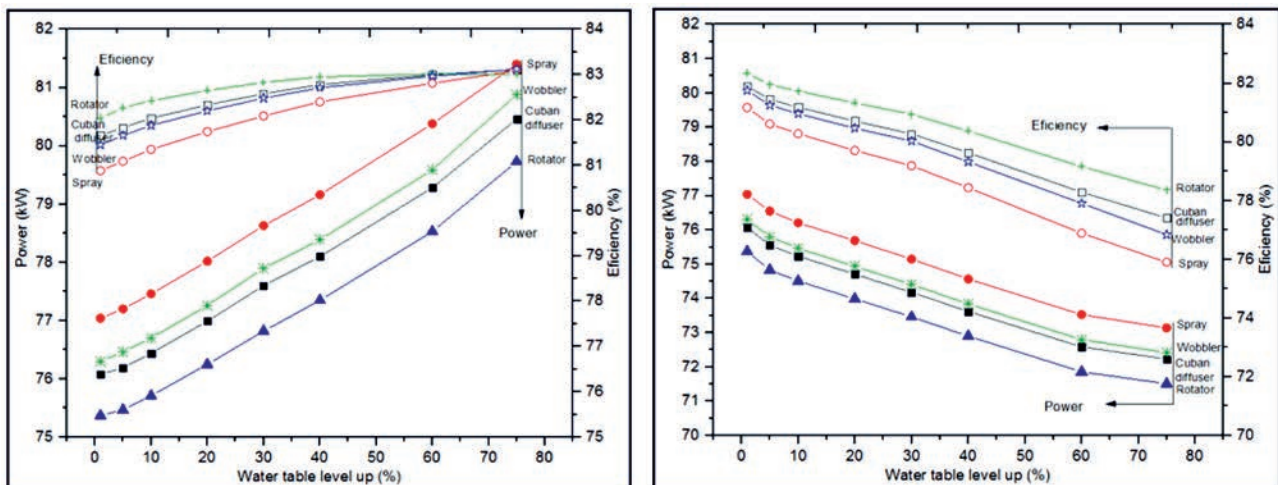


FIGURE 4. The power and efficiency of the centrifugal pump as a function of the water table of the well.  
 FIGURA 4. La potencia y eficiencia de la bomba centrífuga en función del nivel freático del pozo.

It is observed in Figure 4 that when the water table reaches more than 10% of the static level, the power of the pump increases to 0,5 kW per 10% that increases the water table in the well, not being significant increase of the efficiency of the pump. It is this aspect, if the electric motor was not calculated to transmit more power to the centrifugal pump; it will work in overload and can be damaged, in addition to consuming more electric energy according to Tarjuelo (2005). Otherwise it happens when the water tables are deciduous. It can be concluded that by integrating the characteristic curves involved in the hydraulic design of the central pivot irrigation system under the specific operating conditions, it facilitates decision making and operation of the emitters, pipes, and the motor pump assembly, which in turn allows a saving of water and electricity.

### Rainfall at the side end

Table 2 shows the results of the runoff analysis at the side end. It was demonstrated that it is possible to use the central pivot equipped with the emitters analyzed for the typical Ferrallitic Red soil. The maximum rainfall the soil can absorb ( $P_{mA}$ ) is of 8,04 mm min<sup>-1</sup>, superior with the one emitted by the maximum rainfall in the side end ( $P_{mD}$ ) for each type of emitter.

Se puede concluir que mediante la integración de las curvas características que intervienen en el diseño hidráulico del sistema de riego de pivote central en las condiciones específicas de explotación, facilita la toma de decisión y operación de los emisores, las tuberías, y el conjunto bomba motor, que a su vez permite un ahorro de agua y energía eléctrica.

### Pluviosidad en el extremo del lateral

En la Tabla 2 se exponen los resultados del análisis de la escorrentía en el extremo del lateral. Se demostró que es posible la utilización del pivote central dotado de los emisores analizados para el suelo Ferralítico Rojo típico. La máxima pluviosidad que puede absorber el suelo ( $P_{mA}$ ) es de 8,04 mm min<sup>-1</sup>, superior con la emitida por la pluviosidad máxima en el extremo del lateral ( $P_{mD}$ ) para cada tipo de emisor.

TABLE 2 Analysis of the runoff at the side end  
 TABLA 2. Análisis de la escorrentía en el extremo del lateral

No.	$P_{mD}$ (mm min <sup>-1</sup> )	$P_{mA}$ (mm min <sup>-1</sup> )	$AM_E$ (m)	$T_d$ (h d <sup>-1</sup> )	V (m s <sup>-1</sup> )	$AM_L$ (m)
Cuban diffuser nozzle	3,54	8,04	8	17,80	2,07	3,28
Spray	2,89	8,04	12	17,40	2,07	3,28
Rotator	1,63	8,04	16	18,89	2,07	3,28
Wobbler	1,68	8,04	16	17,78	2,07	3,28

The absence of runoff at the end of the side is confirmed by the results in Table 2, due to the minimal strip wetted at the end of the side ( $AM_L$ ) of 3,28 m is smaller than the range of the emitters ( $AM_E$ ) from 8 to 16 m. The minimum speed in the last tower should be 2,07 for the lateral delays in applying an irrigation of 18,89 h d<sup>-1</sup> as maximum.

Se confirma mediante los resultados en la tabla 1, la no existencia de la escorrentía en el extremo del lateral, producto que la franja mínima humedecida en el extremo del lateral ( $AM_L$ ) de 3,28 m es inferior a la franja de los emisores ( $AM_E$ ) desde 8 hasta 16 m. La velocidad mínima en la última torre debe ser de 2,07 para que el lateral demore en aplicar un riego como máximo de 18,89 h d<sup>-1</sup>.

### CONCLUSIONS

- A methodology was developed for the hydraulic design of central pivot irrigation systems with extraction of groundwater, for the specific exploitation conditions that allow obtaining the design flow of the central pivot.
- The importance of considering the hydrogeological, hydraulic, edaphic and agronomic variables in the design of the central pivot irrigation system for a rational use of water and energy resources was demonstrated.

### CONCLUSIONES

- Se desarrolló un nuevo criterio para el diseño hidráulico de los sistemas de riego de pivotes centrales con extracción de aguas subterráneas, para las condiciones específicas de explotación, que permiten la obtención del caudal de diseño del pivote central.
- El pivote central más adecuado para el riego del maíz fue el dotado por emisor Rotator de 8 torres de 55 m con diámetros de 168,30 mm y hidromódulo de 1,20 L·s<sup>-1</sup>·ha<sup>-1</sup> para admitir perturbaciones del nivel freático en el pozo de 10%.
- Se demostró la importancia en considerar la variable hidrogeológica, hidráulica, edáfica y agronómica en el diseño del sistema de riego de pivote central para un uso racional de los recursos hídricos y energéticos.

### REFERENCES / REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALAZBA, A.A.; MATTAR, M.A.; ELNESR, M.N.; AMIN, M.T.: "Field Assessment of Friction Head Loss and Friction Correction Factor Equations", *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 138(2): 166-176, 2012, DOI: 10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0000387.



- DILLON, R.C.; HILER, E.A.; VITTETOE, G.: "Center-Pivot Sprinkler Design Based on Intake Characteristics", *Transactions of the ASAE*, 15(5): 0996-1001, 1972, ISSN: 2151-0059, DOI: 10.13031/2013.38057.
- IZQUIEL, A.; CARRIÓN, P.; TARJUELO, J.M.; MORENO, M.A.: "Optimal reservoir capacity for centre pivot irrigation water supply: Maize cultivation in Spain", *Biosystems Engineering*, 135: 61-72, 2015, ISSN: 1537-5110, DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2015.04.015.
- KÖPP, L.M.; PEITER, M.X.; ROBAINA, A.D.; TOESCHER, C.F.: "Caracterização de estações de bombeamento em lavouras de arroz do rio grande do sul", *Engenharia Agrícola*, 36(2): 342-351, 2016, ISSN: 0100-6916, DOI: 10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v36n2p342-351/2016.
- LÓPEZ, M.; MUJICA, A.; BROWN, O.; CASTELLANO, L.: "Evaluación del consumo energético de las máquinas de pivotes centrales eléctricas en la empresa cultivos varios la Cuba provincia Ciego de Ávila", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 21(Suppl.): 30-34, 2012, ISSN: 1010-2760.
- LOUREIRO, G.F.; CARVALHO, J. de A.: "GRAFICBOMB: Software para cálculos hidráulicos e custos de bombeamento", *Brazilian Journal of Irrigation and Drainage*, 20(4): 694-704, 2015, ISSN: 1808-8546, DOI: 10.15809/irriga.2015v20n4p694.
- MANTOVANI, E.C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L.F.: *Irrigação. Princípios e métodos*, Ed. UFV, 3.ª ed., Viçosa, Brasil, 2012, ISBN: 978-85-7269-373-8.
- MONTERO, J.; MARTÍNEZ, A.; VALIENTE, M.; MORENO, M.A.; TARJUELO, J.M.: "Analysis of water application costs with a centre pivot system for irrigation of crops in Spain", *Irrigation Science*, 31(3): 507-521, 2013, ISSN: 0342-7188, 1432-1319, DOI: 10.1007/s00271-012-0326-4.
- MORENO, M.A.; MEDINA, D.; ORTEGA, J.F.; TARJUELO, J.M.: "Optimal design of center pivot systems with water supplied from wells", *Agricultural Water Management*, 107: 112-121, 2012, ISSN: 0378-3774, DOI: 10.1016/j.agwat.2012.01.016.
- PÉREZ, L.R.: *Nuevos criterios metodológicos y tecnológicos para el diseño hidráulico y la operación de máquinas de riego de pivote Central*, Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría", Tesis de Doctorado, La Habana, Cuba, 2003.
- PÉREZ, L.R.; MARTÍNEZ, G.Y.: "Simplificación y Adecuación del Método de Allen para determinar el caudal de diseño de los pivotes para el riego del cultivo de la papa", *Ingeniería Hidráulica en México*, 19(2): 89-100, 2004, ISSN: 0186-4076.
- STEDUTO, P.; HSIAO, T.C.; FERERES, E.; RAES, D.: *Respuesta del rendimiento de los cultivos al agua, [en línea]*, ser. Estudio FAO: Riego y Drenaje, no. ser. 66, Ed. FAO, Rome, Italy, 510 p., 2012, ISBN: 978-92-5-308564-4, Disponible en: <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=XF2015001461>, [Consulta: 22 de junio de 2016].
- TARJUELO, J.M.: *El riego por aspersión y su tecnología*, Ed. Mundi-Prensa, 3.ª ed., Madrid, España, 581 p., 2005, ISBN: 84-8476-225-4.
- VATANKHAH, A.R.: "Full-Range Solution for the Theis Well Function", *Journal of Hydrologic Engineering*, 19(3): 649-653, 2014, ISSN: 1943-5584, DOI: 10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000833.
- WALTON, W.C.: *Principles of groundwater engineering*, Ed. Lewis Publishers, Chelsea, Mich., 546 p., 1991, ISBN: 978-0-87371-283-5.

Received: 25/10/2016.

Approved: 15/06/2017.

Maiquel López-Silva, Profesor e investigador, Universidad de Ciego de Ávila (UNICA), Facultad de Ciencias Técnicas, Centro de Estudios Hidrotécnicos, Ciego de Ávila, Cuba, E-mail: [maiquel@unica.cu](mailto:maiquel@unica.cu)

Dayma Carmenes-Hernández, E-mail: [daymas@unica.cu](mailto:daymas@unica.cu)

Albi Mujica-Cervantes, E-mail: [albis@unica.cu](mailto:albis@unica.cu)

Pedro Paneque-Rondon, E-mail: [paneque@unah.edu.cu](mailto:paneque@unah.edu.cu)

Note: the mention of commercial equipment marks, instruments or specific materials obeys identification purposes, there is not any promotional commitment related to them, neither for the authors nor for the editor.



ORIGINAL ARTICLE | ARTÍCULO ORIGINAL

# Estimation of Hydrological Variables Using Regression Models in the Suchiate River Basin, Guatemala

## *Estimación de variables hidrológicas mediante modelos de regresión en la cuenca del río Suchiate, Guatemala*

M.Sc. Isaí Álvarez-Sevilla<sup>1</sup>, Dr.C. Oscar Brown-Manrique<sup>11</sup>, M.Sc. Erika Paola del Cid-Colindres<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Ecosoluciones Integrales S.A, Departamento Técnico, Guatemala.

<sup>11</sup> Universidad de Ciego de Ávila (UNICA), Facultad de Ciencias Técnicas, Centro de Estudios Hidrotécnicos, Ciego de Ávila, Cuba.

**ABSTRACT.** The objective of this work is to develop regression models for the estimation of hydrological variables in the Suchiate river basin, Guatemala, which contributes to the sustainable use of water in productive activities of irrigation and electric power production. Four models were obtained, one of the type Richards with an independent variable and three potential multiples of two and three independent variables that allow determining the flow rate, the coefficient of transposition and the intensity of the rain at the basin level. The Correlation Coefficient and the Average Percent Error were checked for their usefulness in order to be applied satisfactorily for predictive purposes.

**Keywords:** flow simulation, hydrological variables, transposition coefficient

**RESUMEN.** El objetivo de este trabajo es desarrollar modelos de regresión para la estimación de variables hidrológicas en la cuenca del río Suchiate, Guatemala que contribuya al uso sostenible del agua en las actividades productivas de irrigación y producción de energía eléctrica. Se obtuvieron cuatro modelos, uno del tipo Richards con una variable independiente y tres potenciales múltiples de dos y tres variables independientes que permiten determinar el caudal, el coeficiente de transposición y la intensidad de la lluvia a nivel de cuenca. Se comprobó mediante el Coeficiente de Correlación y el Error Porcentual Medio su utilidad para ser aplicados de forma satisfactoria con fines predictivos.

**Palabras clave:** Simulación de caudal, variables hidrológicas, coeficiente de transposición.

## INTRODUCTION

Precipitation is defined as the key variable in hydrological systems, because in the development of different research studies, the starting point has been the estimation of this variable (Tapiador *et al.*, 2004; Tapiador *et al.*, 2012; Schuurmans and Bierkens, 2007). This is of great importance for numerous applications in the field of agronomy, hydrology, meteorology and climatology (Kidd and Levizanni, 2009; Scheel *et al.*, 2010).

Rainfall in a hydrological basin is one of the most important components of the balance equation; for this reason, countries that have a steady rainfall regime or large desert areas are prone to long periods of scarcity or excess (Aparicio, *et al.*, 2006).

The reservoir of water resources in a given area is a function of the average annual volume of water received, evapotranspiration and water availability difference in rainy and dry seasons (Vega *et al.*, 2015).

## INTRODUCCIÓN

La precipitación se define como la variable clave en los sistemas hidrológicos, debido a que en el desarrollo de diferentes estudios de investigación, el punto de partida ha sido la estimación de esta variable (Tapiador *et al.*, 2004; Tapiador *et al.*, 2012; Schuurmans y Bierkens, 2006). Esta es de suma importancia para numerosas aplicaciones en el campo de la agronomía, la hidrología, la meteorología y la climatología (Kidd and Levizanni 2009; Scheel *et al.*, 2010).

La lluvia en una cuenca hidrológica es uno de los componentes más importantes dentro de la ecuación de balance; por este motivo, los países que tienen un régimen de lluvia estacionario o amplias zonas desérticas, son propensos a presentar largos períodos de escasez o de exceso (Aparicio *et al.*, 2006).

La reserva de recursos hídricos en una zona determinada es función del volumen anual promedio del agua que recibe,

Water scarcity is one of the main problems of the 21st century. One of its main causes is the rapid population growth and the modern lifestyle, which causes an increase in the demand for water resources, problems of quality deterioration and water pollution. All this, combined with the global warming of the last decades, make the hydrological cycle on a world scale being modified, affecting precipitations specifically (FAO, 2016).

Central America is one of the most vulnerable regions to climate change and it is subject to increasingly intense hydro meteorological phenomena, which affect the availability of water for different uses; especially agriculture where 80 to 98% of the agricultural products depend on rainfall (Martínez, 2013); however, increasing temperatures alter the rainfall regime and reduce long-term production (Altieri and Nicholls, 2009, Nelson *et al.*, 2009).

Latin America, despite the abundance of renewable water resources estimated at 12,929 km<sup>3</sup>, only has irrigation in 23% of the area suitable for irrigation (Beekman, 2015). In order to improve this situation, an efficient management policy is required, based on the evaluation of agronomic and hydraulic processes through the use of indicators (Cervera, 2007; Roldán *et al.*, 2010) to achieve a more efficient and economically sustainable use of water (Heinz *et al.*, 2013).

Mathematical modeling of basin hydrology is a fundamental component for the integrated management of water resources and the environment (Fattorelli and Fernández, 2011); that is why polynomial regression and nonlinear regression techniques are one of the most used procedures in modeling (Pedregal *et al.*, 2009) for the obtaining of climatic information in areas where there are no meteorological station data (Vicente-Serrano *et al.*, 2003; Pesquer *et al.*, 2007); but they require previously, the measurement and comparison of their performance through different criterion of error measurement (Zúñiga y Jordán, 2005). The above aspects justify the development of a research to estimate hydrological variables through regression models in the Suchiate river basin, Guatemala, which is the objective of this study.

## METHODS

The research was carried out in the Suchiate river basin which is an international current with a length of 81 km, rapid course and variable depth in its passage through the department of San Marcos in Guatemala and the state of Chiapas in Mexico until it ends in the Pacific Ocean. It serves as a boundary between Mexico and Guatemala with a transboundary basin that has an extension of 1287 km<sup>2</sup> of which 1064 km<sup>2</sup> are in Guatemalan territory and 336 km<sup>2</sup> in Mexican territory. Its geographical coordinates are as follows: latitude 14,509722 and longitude -92,190556.

The Suchiate river basin is constituted by three regions with different characteristics; the upper area is between 4220 and 470 m; the middle zone extends between 470 and 27 m and the low zone from 27 until 0 m. To achieve greater precision in the investigation, a total of 26 control points located within the three zones were studied; Generating 26 sub-basins, which are

de la evapotranspiración y de la diferencia de disponibilidad hídrica en las épocas de lluvia y de seca (Vega *et al.*, 2015).

La escasez de agua constituye uno de los principales problemas del siglo XXI. Unas de las principales causas son el acelerado crecimiento demográfico y el estilo de vida moderno, que provoca un incremento en la demanda de los recursos hídricos, problemas de deterioro de la calidad y contaminación del agua. Todo esto unido al calentamiento global de las últimas décadas hace que el ciclo hidrológico a escala mundial se modifique, afectándose de forma notable las precipitaciones (FAO, 2016).

Centroamérica es una de las regiones más vulnerables al cambio climático y está sujeta a fenómenos hidrometeorológicos cada vez más intensos, que afecta la disponibilidad de agua para los distintos usos; especialmente el agrícola donde del 80 al 98% de los rubros agropecuarios dependen de la lluvia (Martínez, 2013); sin embargo, el aumento de las temperaturas altera el régimen de lluvias y reduce la producción a largo plazo (Altieri y Nicholls 2009; Nelson *et al.*, 2009).

América Latina pese a la abundancia de recursos hídricos renovables estimados en 12 929 km<sup>3</sup>, solamente cuenta con irrigación en el 23% del área adecuada para riego (Beekman, 2015). Para mejorar esta situación, se requiere de una política de gestión eficiente, sustentada en la evaluación de los procesos agronómicos e hidráulicos mediante el uso de indicadores (Cervera 2007; Roldán *et al.*, 2010) que permita lograr una utilización del agua más eficiente y sostenible desde el punto de vista económico (Winpenny *et al.*, 2013).

La modelación matemática de la hidrología de cuenca es un componente fundamental para el manejo integral del recurso hídrico y del medio ambiente (Fattorelli y Fernández, 2011); por eso las técnicas de regresión de polinomios y regresión no lineal son uno de los procedimientos más utilizados en la modelación (Pedregal *et al.*, 2009) para la obtención de información climática en áreas donde no existen datos de estaciones meteorológicas (Vicente-Serrano *et al.*, 2003; Pesquer *et al.*, 2007); pero requieren previamente la medición y comparación de su desempeño a través de diferentes criterio de medida del error (Zúñiga y Jordán, 2005). Los aspectos anteriores justifican el desarrollo de una investigación para estimar variables hidrológicas mediante modelos de regresión en la cuenca del río Suchiate, Guatemala, que constituye el objetivo del trabajo.

## MÉTODOS

La investigación se realizó en la cuenca del río Suchiate que es una corriente internacional con una longitud de 81 km, curso rápido y profundidad variable en su paso por el departamento de San Marcos en Guatemala y el estado de Chiapas en México hasta desembocar en el Océano Pacífico. Este sirve de límite entre México y Guatemala con una cuenca transfronteriza que posee una extensión de 1287 km<sup>2</sup> de la cual 1064 km<sup>2</sup> están en territorio guatemalteco y 336 km<sup>2</sup> en territorio mexicano. Sus coordenadas geográficas son las siguientes: latitud: 14.509722 y longitud: -92.190556.

La cuenca del río Suchiate está constituida por tres regiones con características diferentes; la zona alta se ubica entre los 4220 y 470 msnm; la zona media se extiende entre los 470 y 27 msnm y la zona baja parte de 27 hasta los 0 msnm. Para lograr mayor precisión en la investigación se estudiaron un total de 26 puntos de control ubicados dentro de las tres zonas señaladas; generándose 26 subcuencas las cuales se muestran en la Tabla 1 y

shown in Table 1 and Figure 1 The areas of these sub-basins were constructed by a process of detailed cartographic delimitation with ARCGIS 10.2.1 software package and within it, ARCMAP, ARCCATALOG and ARCSCEM programs.

Figura 1. Las áreas de estas subcuencas se construyeron mediante el proceso de delimitación cartográfica a detalle con el paquete informático ARCGIS 10.2.1 y dentro de este los programas ARCMAP, ARCCATALOG Y ARCSCEM.

**TABLE 1. Control points located in the Suchiate basin (sub-basins)**  
**TABLA 1. Puntos de control ubicados en la cuenca Suchiate (subcuencas)**

Points	Sub-basins	Points	Sub-basins
1	Confluence Sibinal - Without Name	14	Station X Tecun Uman
2	Confluence Sibinal – Suchiate	15	Chibuj
3	Confluence Suchiate – Nacimiento	16	Las Gradas
4	Station X Malacatán	17	Paty II
5	Confluence Petacalapa -Without Name 2	18	Goritzia II
6	Confluence Petacalapa – Ixpil	19	El Niagara
7	Confluence Petacalapa -Without Name	20	Confluence Río Negro without name
8	Confluence River Without Name	21	Confluence Río Negro without name 2
9	Confluence Petacalapa – Suchiate	22	Confluence Cabuz – Gramal
10	Confluence Nicá – Ixben	23	Chayen
11	Confluence Suchiate – Ixben	24	Confluence Cabuz – Mapá
12	Confluence Cabuz – Gramal	25	Malacatán
13	Confluence Suchiate – Cabuz	26	Station X Catarina

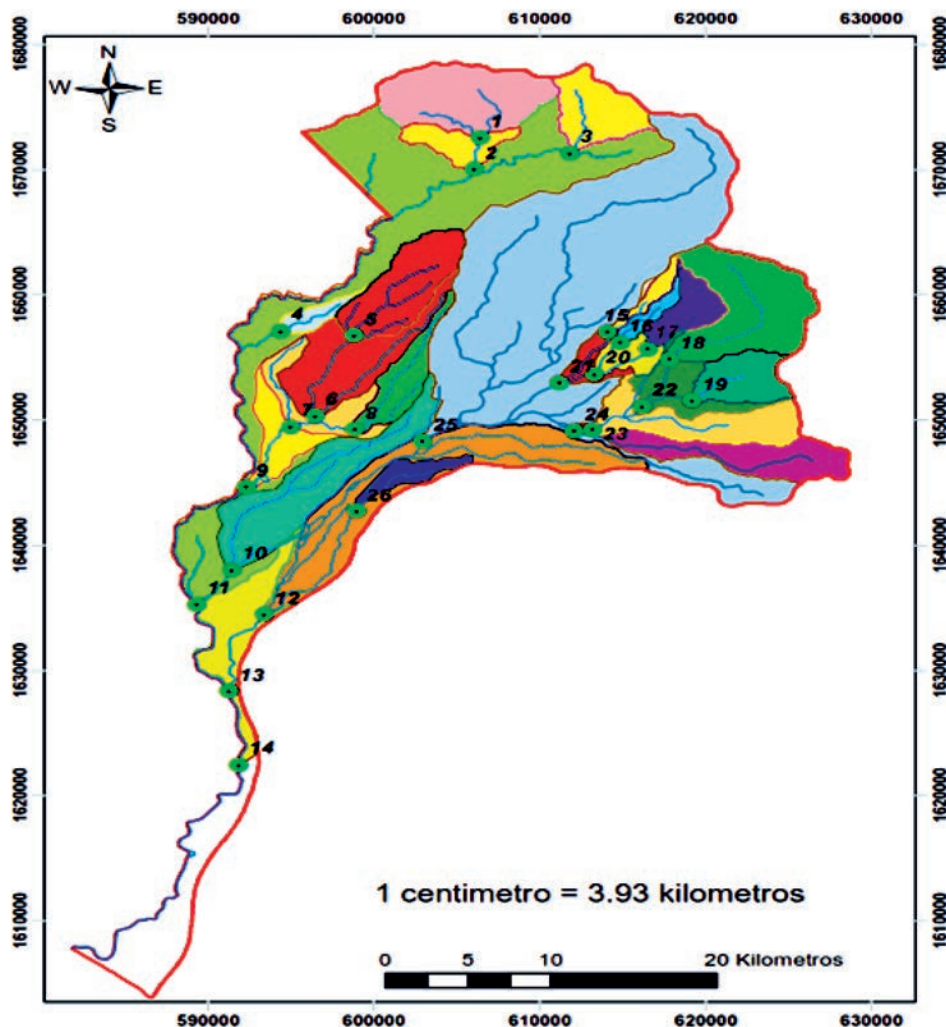


FIGURE 1. Suchiate River sub-basins  
 FIGURA 1. Subcuencas del río Suchiate.



In the research, regression models were generated for the estimation of the necessary variables in the sustainable use of water within Suchiate river basin in a fast, simple and reliable way. Hydrological variables formed by precipitation, evapotranspiration, precipitation intensity and runoff flow were used, which were functionally related to the basin area and slope in each of the 26 points within the Suchiate basin and conformed a series of 32 years included in the period from 1983 to 2015.

The mean annual precipitation and mean annual potential evapotranspiration were calculated from the isoyet and isoplete maps, respectively, from the following equations:

$$P_m = \frac{\sum A_i \cdot P_i}{\sum A_i} \quad (1)$$

$$ETP_m = \frac{\sum A_i \cdot ETP_i}{\sum A_i} \quad (2)$$

$$I_{md} = \frac{P_{md}}{24h} \quad (3)$$

Where:

$P_m$  -sub-basin mean annual precipitation (mm);  
 $ETP_m$  -sub-basin mean annual evapotranspiration (mm);  
 $P_i$  -mean annual precipitation at each study (mm);  
 $ETP_i$  -mean annual evapotranspiration at each study point (mm);  
 $A_i$  -sub-basin area corresponding to each study point (km<sup>2</sup>);  
 $P_{md}$  -mean daily precipitation (mm);  $I_{md}$  mean daily precipitation intensity (mm d<sup>-1</sup>).

The flow rate in each of the sub-basins was estimated through Ortiz transposition coefficient (2011). Malacatán station was assumed as an index station because it had more information time and because its sub-basin runoff capture was 73%. The equations used were as follows:

$$Q_i = C_i \cdot Q_{ind} \quad (4)$$

$$C_i = \frac{A_i}{A_{ind}} \left( \frac{P_i - ETP_i}{P_{ind} - ETP_{ind}} \right) \quad (5)$$

Where:

$Q_i$  mean annual flow rate at each point of study (m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>);  
 $Q_{ind}$  mean annual flow in the index station (m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>);  
 $C_i$  coefficient of transposition;  
 $P_i$  mean annual precipitation at each study point (mm);  
 $ETP_i$  mean annual evapotranspiration of each study point (mm);  
 $P_{ind}$  mean annual precipitation in the index station (mm);  
 $ETP_{ind}$  mean annual evapotranspiration in the index station (mm);  
 $A_i$  sub-basin area corresponding to each point of study (km<sup>2</sup>);  
 $A_{ind}$  sub-basin area corresponding to the index station (km<sup>2</sup>).

En la investigación se generaron modelos de regresión para la estimación de las variables necesarias en el aprovechamiento sostenible del agua dentro de la cuenca del río Suchiate de forma rápida, sencilla y confiable. Se utilizaron variables hidrológicas formadas por la precipitación, la evapotranspiración, la intensidad de las precipitaciones y el caudal de escorrentía, las cuales se relacionaron funcionalmente con el área de la cuenca en cada uno de los 26 puntos dentro de la cuenca Suchiate y conformaron una serie de 32 años de observaciones sistemáticas comprendida en el periodo de 1983 a 2015. Esta no tuvo datos faltantes; por lo que no fue necesario aplicar procedimientos para su completamiento.

Los valores de precipitación se obtuvieron de la base de datos climatológica del Ministerio de Energía y Minas (MEM); mientras que la evapotranspiración potencial se estimó por el método de Hargreave que está generalizado en Guatemala y América Central. Con esta información se calcularon la precipitación media anual y la evapotranspiración potencial media anual a partir de los mapas de isoyetas e isopletas respectivamente con la utilización de las ecuaciones siguientes:

$$P_m = \frac{\sum A_i \cdot P_i}{\sum A_i} \quad (1)$$

$$ETP_m = \frac{\sum A_i \cdot ETP_i}{\sum A_i} \quad (2)$$

$$I_{md} = \frac{P_{md}}{24h} \quad (3)$$

donde:

$P_m$  -precipitación media anual de la subcuenca (mm);  
 $ETP_m$  -evapotranspiración media anual de la subcuenca (mm);  
 $P_i$  -precipitación media anual de en cada punto de estudio (mm);  
 $ETP_i$  -evapotranspiración media anual en cada punto de estudio (mm);  
 $A_i$  -área de la subcuenca correspondiente a cada punto de estudio (km<sup>2</sup>);  
 $P_{md}$  -precipitación media diaria (mm);  $I_{md}$  la intensidad media diaria de la lluvia (mm d<sup>-1</sup>).

El caudal en cada una de las subcuencas se estimó a través del coeficiente de transposición Ortiz (2011), el cual se utiliza como factor de ajuste para la estimación del caudal en cada subcuenca estudiada. Se asumió como estación índice la de Malacatán por tener mayor tiempo de información y captar escorrentía del 73% de las subcuencas. Las ecuaciones empleadas fueron las siguientes:

$$Q_i = C_i \cdot Q_{ind} \quad (4)$$

$$C_i = \frac{A_i}{A_{ind}} \left( \frac{P_i - ETP_i}{P_{ind} - ETP_{ind}} \right) \quad (5)$$

donde:

$Q_i$  - caudal medio anual en cada punto de estudio (m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>);  
 $Q_{ind}$  -caudal medio anual en la estación índice (m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>);  
 $C_i$  -coeficiente de transposición;  
 $P_i$  -precipitación media anual de en cada punto de estudio (mm);  
 $ETP_i$  -evapotranspiración media anual de cada punto de estudio (mm);

$$EPM = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(y_{obs} - y_{sim})^2}{y_{obs}} 100 \quad (6)$$

Where:

$B_H$  hydrological balance ( $10^6 \text{ m}^3$ );

$P_m$  mean annual rainfall of the sub-basin (m);

$ETP_m$  mean annual evapotranspiration of the sub-basin (m);

$A$  sub-basin area corresponding to each study point ( $\text{m}^2$ ).

## RESULTS AND DISCUSSION

### Analysis of regression models of hydrological variables

Four regression models were developed for estimation of flow, coefficient of transposition, and mean daily intensity. These variables are of great interest for the use of existing resources in the sub-basins, especially for the development of irrigation projects and hydropower plants where water management for these purposes is fundamental.

The equations found to obtain the flow and the coefficient of transpiration as a function of area; precipitation and evapotranspiration are of the potential multiple types with three independent variables (3V) which are shown below:

$$Q_m = 3,357.10^{-6} A^{0,9895} P_m^{2,1541} ETP_m^{-1,1006} \quad (7)$$

$$C = 1,63.10^{-7} A^{0,9892} P_m^{2,1528} ETP_m^{-1,1037} \quad (8)$$

Where:

$Q_m$  - mean annual flow of the sub-basin ( $\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$ );

$C_i$  - coefficient of transposition;

$A$  - sub-basin area corresponding to each point of study ( $\text{km}^2$ );

$P_m$  -mean annual precipitation of the sub-basin (mm);

$ETP_m$  -mean annual evapotranspiration of the sub-basin (mm).

The coefficient of transposition was important for flow estimation in the points of the basin without data of capacity. This is determined mainly by non-dimensional relationships in which the group of variables mentioned above intervenes; that is, the area of the sub-basin, precipitation and evapotranspiration. When the relation among them is very strong, its practical use is very precise to obtain the runoff, as in this case. Figures 2 and 3 show the graphical comparison between the observed and simulated values of the hydrological variables ( $Q_m$ ) and the transposition coefficient ( $C$ ) at each selected point in the Suchiate river basin, respectively.

The flow rate was also estimated based on the basin area and the mean daily precipitation intensity; but not only for the Suchiate basin, data from other neighboring basins belonging to the Retalhuleu, Labor Ovalle, Santiago Atitlán and Suchiate stations, were also used. Therefore, it is necessary to work with the physical areas of these watersheds and their scope extends to the entire hydrological

$P_{ind}$  -precipitación media anual en la estación índice (mm);

$ETP_{ind}$  -evapotranspiración media anual en la estación índice (mm);

$A_i$  -área de la subcuenca correspondiente a cada punto de estudio ( $\text{km}^2$ );

$A_{ind}$  -área de la subcuenca correspondiente a la estación índice ( $\text{km}^2$ ).

A partir de las variables obtenidas se generaron diferentes modelos de regresión con la utilización de los programas informáticos CurveExpert 1.34; HidroEsta 2 Versión 2012 y SAMS Versión 2009. La validación se realizó con datos usados para la estimación (periodo1983-2015) y el pronóstico con datos del año 2016, mediante el Coeficiente de Determinación ( $R^2$ ) que es el indicador más recomendado para medir la fiabilidad del modelo (Vicente-Serrano *et al.*, 2003) y el Error Porcentual Medio ampliamente utilizado para medir el desempeño de los modelos (Zuñiga y Jordán, 2005). Este se define como:

$$EPM = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(y_{obs} - y_{sim})^2}{y_{obs}} 100 \quad (6)$$

donde:

EPM - Error Porcentual Medio (%);

$n$  -número de datos de la serie;

$y_{obs}$  -variable observada;

$y_{sim}$  -variable simulada.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Análisis de los modelos de regresión de las variables hidrológicas

En la investigación se desarrollaron cuatro modelos de regresión para la estimación del caudal, el coeficiente de transposición, y la intensidad media diaria. Estas variables son de gran interés para el aprovechamiento de los recursos existentes en las subcuencas, especialmente para el desarrollo de proyectos de irrigación y de plantas hidroeléctricas donde el manejo del agua con estos propósitos es fundamental.

Las ecuaciones encontradas para la obtención del caudal y el coeficiente de transposición en función del área, la precipitación y la evapotranspiración son del tipo potencial múltiple con tres variables independientes (3V) las cuales se muestran a continuación:

$$Q_m = 3,357.10^{-6} A^{0,9895} P_m^{2,1541} ETP_m^{-1,1006} \quad (7)$$

$$C = 1,63.10^{-7} A^{0,9892} P_m^{2,1528} ETP_m^{-1,1037} \quad (8)$$

donde:

$Q_m$  -caudal medio anual de la subcuenca ( $\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$ );

$C_i$  -coeficiente de transposición;

$A$  -área de la subcuenca correspondiente a cada punto de estudio ( $\text{km}^2$ );

$P_m$  -precipitación media anual de la subcuenca (mm);

$ETP_m$  -evapotranspiración media anual de la subcuenca (mm).

El coeficiente de transposición resultó importante en la estimación del caudal en los puntos de la cuenca sin datos de aforo está determinado principalmente por relaciones adimensionales en la que interviene el grupo de variables mencionadas anteriormente; es decir, el área de la subcuenca, la precipitación y la evapotranspiración. Cuando la relación entre estas en muy fuerte como resultó en este caso su utilización práctica es muy precisa para la obtención de la esorrentía. En las Figuras 2 y 3 se muestra la comparación

region I of the Pacific slope. The models found are of the potential multiple types with two independent variables (2V) and Richards model with an independent variable (1V). These are written as:

$$Q_m = 0,00000365 A^{2,0516} I_m^{-0,9631} \quad (9)$$

$$I_{md} = \frac{0,227}{[1 + \exp(5,876 - 0,513Q_m)]^{1/5,06}} \quad (10)$$

Where:

$Q_m$  – mean annual flow of the sub-basin ( $m^3 s^{-1}$ );

$A$  - area of the basin ( $km^2$ );

$I_{md}$  mean daily precipitation intensity ( $mm d^{-1}$ ).

gráfica entre los valores observados y simulados de las variables hidrológicas caudal ( $Q_m$ ) y coeficiente de transposición ( $C$ ) en cada punto seleccionado en la cuenca del río Suchiate.

El caudal también se estimó en función del área de la cuenca y la intensidad media diaria de la lluvia con base en los modelos de tipo potencial múltiple con dos variables independientes (2V) y el modelo de Richards con una variable independiente (1V). Estos se escriben como:

$$Q_m = 0,00000365 A^{2,0516} I_m^{-0,9631} \quad (9)$$

$$I_{md} = \frac{0,227}{[1 + \exp(5,876 - 0,513Q_m)]^{1/5,06}} \quad (10)$$

donde:

$Q_m$  -caudal medio diario anual de la subcuenca ( $m^3 s^{-1}$ );

$A$  -área de la cuenca ( $km^2$ );

$I_{md}$  -intensidad media diaria de la lluvia ( $mm d^{-1}$ ).

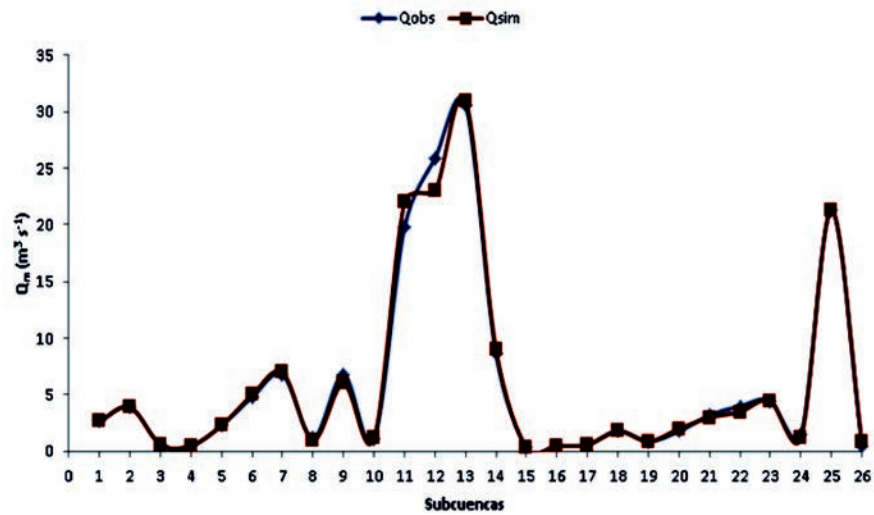


FIGURE 2. Observed and Simulated Flow with  $Q_m = 3,357 \cdot 10^{-6} A^{0,9895} ETP^{-1,1006}$ .  
 FIGURA 2. Caudal y simulado con  $Q_m = 3,357 \cdot 10^{-6} A^{0,9895} ETP^{-1,1006}$ .

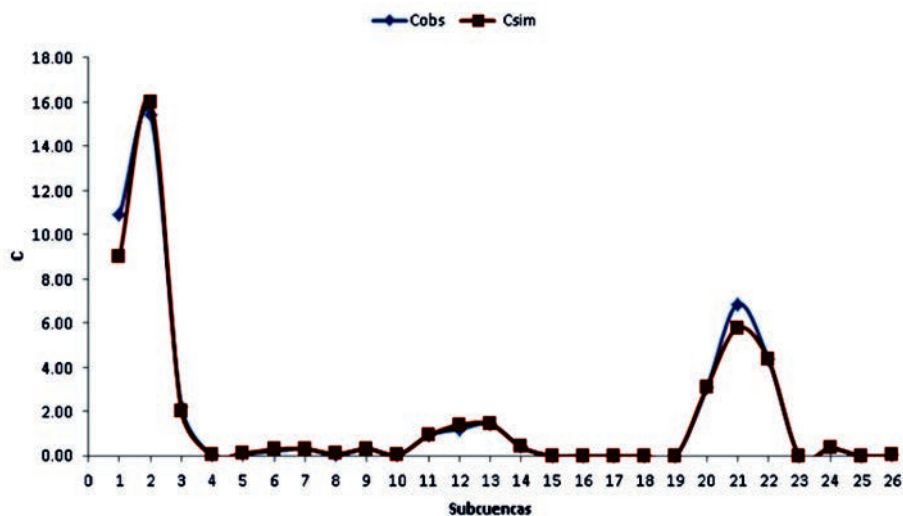


FIGURE 3. Observed and Simulated Transposition Coefficient  $C$ .  
 FIGURA 3. Coeficiente de transposición  $C$  observado y simulado.

### Validation of hydrological regression models

Table 2 shows that all the models developed for the estimation of the hydrological variables reached a high coefficient of determination of 0,8765 to 0,9980 and acceptable values of the Average Percent Error between 8,9 and 17,4%. These results confirm the findings of several authors such as Vicente-Serrano *et al.* (2003); Ramesh and Chandramouli (2005) and Pesquer *et al.* (2007) that the simple and multiple regression models allow obtaining data with precision and minimum spatial variance in areas where there are no meteorological stations.

### Validación de los modelos de regresión hidrológicos

En la Tabla 2 se muestra que todos los modelos desarrollados para la estimación de las variables hidrológicas alcanzaron un elevado coeficiente de determinación de 0,8765 a 0,9980 y valores aceptables del Error Porcentual Medio comprendido entre 8,9 y 17,4%. Estos resultados confirman lo expuesto por varios autores como Vicente-Serrano *et al.* (2003), Teegavarapu y Chandramouli (2005), y Pesquer *et al.* (2007), de que los modelos de regresión simple y múltiple permiten la obtención de datos con precisión y mínima varianza espacial en áreas donde no existen estaciones meteorológicas.

**TABLE 2. Validation Criteria for Hydrological Models**  
**TABLA 2. Criterios para la validación de los modelos hidrológicos**

Models	Type of model	R <sup>2</sup>	EPM
$Q_m = f(A, P, ETP)$	Multiple Potential (3V)	0,9903	10,4
$C = f(A, P, ETP)$	Multiple Potential (3V)	<b>0,9901</b>	10,2
$Q_m = f(A, I_{md})$	Multiple Potential (2V)	0,8765	17,4
$I_{md} = f(Q_m)$	Richards (1V)	0,9980	8,9

### CONCLUSIONS

- Two hydrological models of multiple potential types were developed with three independent variables that allow estimating the flow rate and the transposition coefficient from the area information, precipitation and potential evapotranspiration generated in twenty six selected points within Suchiate basin in Guatemala.
- Two regression models of Richards type were obtained with an independent variable and multiple potential of two independent variables, that makes possible the estimation of the flow rate and daily precipitation intensity in the stations Retalhuleu, Labor Ovalle, Santiago Atitlán and Suchiate from the aerial of those watersheds belonging to the hydrological region I of the Pacific slope.
- The quality and accuracy of the proposed models were verified by two validation criteria: Determination Coefficient and Average Percent Error, which were above 0.87 and below 17.4%, respectively. These values are correct for this type of verification and at the same time, demonstrate that they can be applied for predictive purposes in Suchiate river basin.

### ACKNOWLEDGEMENTS

Thanks to Ecosoluciones Integrales S.A., Departamento Técnico. Guatemala.

### CONCLUSIONES

- Se desarrollaron dos modelos hidrológicos de tipo potencial múltiple de tres variables independientes que permiten estimar el caudal y el coeficiente de transposición a partir de la información de área, precipitación y evapotranspiración potencial generada en veintiséis puntos seleccionados dentro de la cuenca Suchiate en Guatemala.
- Se obtuvo un modelos de regresión del tipo Richards con una variable independiente y otro potencial múltiple de dos variables independientes que posibilitan la estimación de la intensidad de la precipitación diaria y el del caudal en la cuenca del río Suchiate.
- La calidad y exactitud de los modelos propuestos fueron comprobados mediante dos criterios de validación: el Coeficiente de Determinación y el Error Porcentual Medio los cuales estuvieron por encima de 0,87 y por debajo de 17,4% respectivamente. Estos valores son acertados para este tipo de verificación y demuestran al mismo tiempo que pueden aplicarse con fines predictivos en la cuenca del río Suchiate.

### REFERENCES / REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALTIERI, M.A.; NICHOLLS, C.I.: "Cambio climático y agricultura campesina: impactos y respuestas adaptativas", *LEISA: Revista de Agroecología*, 24(4): 5-8, 2009, ISSN: 1729-7419.

APARICIO, J.; LAFRAGUA, J.; GUTIÉRREZ-LÓPEZ, A.; MEJÍA, R.; AGUILAR, E.: *Evaluación de los recursos hídricos. Elaboración del balance hídrico integrado por cuencas hidrográficas*, [en línea], ser. Documento técnico del PHI-LAC, no. ser. 4, Ed. UNESCO, Montevideo, Uruguay, 95 p., 2006, ISBN: 92-9089-090-8, Disponible en: [http://unesdoc.unesco.org/Urlis/cgi-bin/ulis.pl?cat-no=228100&set=0057ECEA79\\_1\\_18&gp=1&lin=1&ll=1](http://unesdoc.unesco.org/Urlis/cgi-bin/ulis.pl?cat-no=228100&set=0057ECEA79_1_18&gp=1&lin=1&ll=1), [Consulta: 22 de junio de 2017].

BEEKMAN, G.; CRUZ, S.; ESPINOZA, N.; GARCÍA, E.; TOLEDO, C.; MEDINA, D.; WILLIAMS, D.; GARCÍA, M.: *Agua, alimento para la tierra*, [en línea], Ed. IICA, San José, Costa Rica, 106 p., 2014, Disponible en: <http://www.iica.int/en/content/agua-alimento-para-la-tierra-water-feed-land>, [Consulta: 22 de junio de 2016].



- CERVERA, G.L.E.: "Indicadores de uso sustentable del agua en Ciudad Juárez, Chihuahua", *Estudios Fronterizos*, 8(16): 9-41, 2007, ISSN: 0187-6961.
- FAO: *Afrontar la escasez de agua: un marco de acción para la agricultura y la seguridad alimentaria.*, Ed. FAO, Roma, Italia, 78 p., 2013, ISBN: 978-92-5-307304-7.
- FATTORELLI, S.; FERNÁNDEZ, P.C.: *Diseño hidrológico, [en línea]*, Ed. WASA-GN, 531 p., 2011, ISBN: 978-987-05-2738-2, Disponible en: [www.ina.gov.ar/pdf/Libro\\_diseño\\_hidrológico\\_edición\\_digital.pdf](http://www.ina.gov.ar/pdf/Libro_diseño_hidrológico_edición_digital.pdf), [Consulta: 22 de junio de 2016].
- KIDD, C.; LEVIZZANI, V.: "Status of satellite precipitation retrievals", *Hydrology and Earth System Sciences*, 15(4): 1109–1116, 2011, ISSN: 1027-5606.
- MARTÍNEZ, G.M.A.: *Tecnologías para el uso sostenible del agua: una contribución a la seguridad alimentaria y la adaptación al cambio climático, [en línea]*, Cáceres, C.D. (ed.), Ed. FAO, Tegucigalpa, Honduras, 68 p., 2013, ISBN: 978-92-5-307931-5, Disponible en: [http://www.fao.org/fileadmin/user\\_upload/AGRO\\_Noticias/docs/Tecnologías\\_para\\_el\\_uso\\_sostenible\\_del\\_agua.pdf](http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/AGRO_Noticias/docs/Tecnologías_para_el_uso_sostenible_del_agua.pdf), [Consulta: 22 de junio de 2016].
- MOREJÓN, Y.M.; VEGA, M.B.; ESCARRÉ, A.; PERALTA, J.L.; QUINTERO, A.; GONZÁLEZ, J.I.: "Análisis de balance hídrico en cuencas hidrográficas de la Sierra de los Órganos", *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 36(2): 94-108, 2015, ISSN: 1680-0338.
- NELSON, G.C.; ROSEGRANT, M.W.; KOO, J.; ROBERTSON, R.; SULSER, T.; ZHU, T.; RINGLER, C.; MSANGI, S.; PALAZZO, A.; BATAKA, M.; MAGALHAES, M.; VALMONTE-SANTOS, R.; EWING, M.; LEE, D.: *Cambio Climático: El impacto en la agricultura y los costos de adaptación, [en línea]*, Ed. Instituto Internacional de Investigación sobre Políticas Alimentarias (IFPRI), Washington, USA, 123 p., 2009, ISBN: 978-0-89629-537-7, Disponible en: <http://dnspes.com/ciencias-tecnología-y-medicina/cambio-climatico-el-impacto-en-la-agricultura-y-los-costos-de-adaptación.pdf>, [Consulta: 22 de junio de 2016].
- ORTIZ, R.: *Pequeñas centrales hidroeléctricas. Construcción paso a paso, [en línea]*, Ed. Ediciones de la U, 1.ª ed., Colombia, 384 p., 2011, ISBN: 978-958-8675-99-2, Disponible en: <http://www.libun.edu.pe/carrito/principal.php/articulo/00090069>, [Consulta: 22 de junio de 2016].
- PEDREGAL, D.J.; RIVAS, R.; FELIU, V.; SÁNCHEZ, L.; LINARES, A.: "A non-linear forecasting system for the Ebro River at Zaragoza, Spain", *Environmental Modelling & Software*, 24(4): 502-509, 2009, ISSN: 1364-8152, DOI: 10.1016/j.envsoft.2008.09.010.
- PESQUER, L.; MASÓ, J.; PONS, X.: "Integración SIG de regresión multivariante, interpolación de residuos y validación para la generación de rásters continuos de variables meteorológicas", *Revista de Teledetección*, 28: 69–76, 2007, ISSN: 1133-0953.
- ROLDÁN, J.; DÍAZ, M.; PÉREZ, R.; MORENO, M.F.: "Mejora de la gestión del agua de riego mediante el uso de indicadores de riego", *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, 42(1): 107-124, 2010, ISSN: 1853-8665.
- SCHEEL, M.L.M.; ROHRER, M.; HUGGEL, C.; SANTOS VILLAR, D.; SILVESTRE, E.; HUFFMAN, G.J.: "Evaluation of TRMM Multi-satellite Precipitation Analysis (TMPA) performance in the Central Andes region and its dependency on spatial and temporal resolution", *Hydrology and Earth System Sciences*, 15(8): 2649-2663, 2011, ISSN: 1027-5606.
- SCHUURMANS, J.M.; BIERKENS, M.F.P.: "Effect of spatial distribution of daily rainfall on interior catchment response of a distributed hydrological model", *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 3(4): 2175-2208, 2006, ISSN: 1027-5606.
- TAPIADOR, F.J.; KIDD, C.; LEVIZZANI, V.; MARZANO, F.S.: "A Neural Networks-Based Fusion Technique to Estimate Half-Hourly Rainfall Estimates at 0.1° Resolution from Satellite Passive Microwave and Infrared Data", *Journal of Applied Meteorology*, 43(4): 576-594, 2004, ISSN: 0894-8763, DOI: 10.1175/1520-0450(2004)043<0576:ANNFTT>2.0.CO;2.
- TAPIADOR, F.J.; TURK, F.J.; PETERSEN, W.; HOU, A.Y.; GARCÍA-ORTEGA, E.; MACHADO, L.A.T.; ANGELIS, C.F.; SALIO, P.; KIDD, C.; HUFFMAN, G.J.; DE CASTRO, M.: "Global precipitation measurement: Methods, datasets and applications", *Atmospheric Research*, 104: 70-97, 2012, ISSN: 0169-8095, DOI: 10.1016/j.atmosres.2011.10.021.
- TEEGAVARAPU, R.S.V.; CHANDRAMOULI, V.: "Improved weighting methods, deterministic and stochastic data-driven models for estimation of missing precipitation records", *Journal of Hydrology*, 312(1): 191-206, 2005, ISSN: 0022-1694, DOI: 10.1016/j.jhydrol.2005.02.015.
- VICENTE-SERRANO, S.M.; SAZ-SNCHÉZ, M.A.; CUADRAT, J.M.: "Comparative analysis of interpolation methods in the middle Ebro Valley (Spain): application to annual precipitation and temperature", *Climate Research*, 24(2): 161-180, 2003, ISSN: 1616-1572, DOI: 10.3354/cr024161.
- WINPENNY, J.; HEINZ, I.; KOO-OSHIMA, S.: *Reutilización del agua en la agricultura: ¿Beneficios para todos?, [en línea]*, Ed. FAO, vol. 35, Roma, Italia, 114 p., 2013, ISBN: 978-92-5-306578-3, Disponible en: <http://www.fao.org/family-farming/detail/en/c/292324/>, [Consulta: 22 de junio de 2016].
- ZÚÑIGA, A.; JORDÁN, C.: "Pronóstico de caudales medios mensuales empleando Sistemas Neurofuzzy", *Revista Tecnológica - ESPOL*, 18(1): 17-23, 2005, ISSN: 1390-3659.

Received: 20/10/2016.

Approved: 15/06/2017.

Isai Álvarez-Sevilla, M.Sc., Investigador, Ecosoluciones Integrales S.A., Departamento Técnico. Guatemala. E-mail: [aisaithomas2002@gmail.com](mailto:aisaithomas2002@gmail.com)

Oscar Brown-Manrique, E-mail: [obrown@unica.cu](mailto:obrown@unica.cu)

Erika Paola del Cid-Colindres, E-mail: [epdelcid@gmail.com](mailto:epdelcid@gmail.com)

Note: the mention of commercial equipment marks, instruments or specific materials obeys identification purposes, there is not any promotional commitment related to them, neither for the authors nor for the editor



# Mathematical Models for Flow Estimation in Sutro Weirs Used in Irrigation Systems

## *Modelos matemáticos para la estimación del caudal en vertedores Sutro utilizados en sistemas de riego*

M.Sc. Luis Manuel Sandoval-Mendoza<sup>I</sup>, Ing. Mayra Isabel Juárez-Bonilla<sup>I</sup>, Dr.C. Oscar Brown-Manrique<sup>II</sup>, Dr.C. Albi Mujica-Cervantes<sup>II</sup>; Dr.C. Jorge Douglas Bonilla-Rocha<sup>II</sup>; Dr.C. Yurisbel Gallardo-Ballat<sup>II</sup>

<sup>I</sup>Universidad de San Carlos (USAC), Facultad de Ingeniería, Guatemala.

<sup>II</sup>Universidad de Ciego de Ávila (UNICA), Facultad de Ciencias Técnicas, Centro de Estudios Hidrotécnicos, Ciego de Ávila, Cuba.

**ABSTRACT.** The results of the research carried out in Laboratory of Fluid Mechanics and Hydraulics of Carlos de Guatemala University to develop mathematical models necessary in the flow estimation in Sutro weirs are presented in this work. Nine weirs with different values of curvature constant  $a$  (5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 90) were produced. The experiment showed that the discharge coefficients  $\mu$  are not constant and vary between 0.6532 and 0.7504. A potential model type  $\mu=7.86 \times 10^{-4} a^{-0.0274}$  was proposed for the correction of the discharge coefficient which greatly improves the accuracy of Sotelo's equation. To estimate mean water speed in each weir, water depth with values greater than 65% of the maximum water depth should be used, in order to reach minimal speed variations. A mathematical model that relates mean speed and  $a$  constant with a correlation coefficient of 0.8961 was found.

**Keywords:** calibration, discharge coefficient, hydrodynamic canal, flow mensuration

**RESUMEN.** Los resultados de la investigación realizada en el Laboratorio de Mecánica de Fluidos e Hidráulica de la Universidad de San Carlos de Guatemala para el desarrollo de modelos matemáticos necesarios en la estimación del caudal en vertedores Sutro, se presentan en este trabajo. Se fabricaron nueve vertedores con diferentes valores de constante de curvatura  $a$  (5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 90). El experimento demostró que los coeficientes de descarga  $\mu$  no son constantes y varían entre 0,6532 y 0,7504. Se propuso un modelo potencial del tipo  $\mu=7,86 \times 10^{-4} a^{-0.0274}$  para la corrección del coeficiente de descarga que mejora grandemente la precisión de la ecuación de Sotelo. En la estimación de velocidad media de agua en cada vertedor debe utilizarse los tirantes con valores superiores al 65% del tirante máximo, para que la variación de las velocidades sea mínima. Se encontró un modelo matemático que relaciona la velocidad media y la constante  $a$ , con un coeficiente de correlación de 0,8961.

**Palabras clave:** medición del flujo, calibración, canal hidrodinámico, coeficiente de descarga.

## INTRODUCTION

Environmental management is a process directed at identifying, solving and mitigating environmental problems. One of the main tools of this process is the determination of water and energy consumption indicators for effective water management; (Ríos *et al.*, 2010) and to use all the available water with lower costs and without waste from adequate measurement systems (Cadavid, 2009).

## INTRODUCCIÓN

La gestión ambiental es un proceso orientado a identificar, resolver y mitigar problemas de carácter ambiental. Una de las principales herramientas de este proceso es la determinación de indicadores de consumo de agua y energía para el manejo eficaz del agua; por lo que se requiere conocer el consumo unitario de este recurso (Ríos *et al.*, 2010) y utilizar toda el agua disponible con menores costos y sin desperdicio a partir de sistemas de medición adecuados (Cadavid, 2009).

Many of the problems of water management lie in the deficiency of flow controls in irrigation systems (Condori, 2005). In this sense, it is important that farmers know the different ways to measure pressure and flow (Bello and Pino, 2000), which allow adopting appropriate measures to reduce vulnerability to risk (González and Ramírez, 2014) and the development of construction projects for control works such as landfills (Santos *et al.*, 2008). Farmer who does not handle the technology well faces several problems to achieve efficiency in the use of water for irrigation (FAO, 2013).

Taking into account the previously mentioned aspects, the objective of the work is to propose mathematical models that allow accurate simulation of flow in Sutro weirs used in irrigation systems to measure small flows.

## METHODS

The research was developed in Laboratory of Fluid Mechanics and Hydraulics of San Carlos de Guatemala University that consists of a water supply system by means of pumping and a tank for volumetric sets. To develop the experiments, nine Sutro-type weirs were designed and manufactured with a 3 mm thick sheet of iron and coated with anticorrosive paint to increase the time of material use (Figure 1).

Gran parte de los problemas de la administración del agua radica en la deficiencia de controles del caudal en los sistemas de riego (Condori, 2005). En este sentido es importante que el agricultor conozca las diferentes formas para medir la presión y el caudal (Bello y Pino, 2000) para que tomen las medidas acertadas que contribuyan a la reducción de la vulnerabilidad ante el riesgo (González y Ramírez, 2014) y el desarrollo de proyectos de construcción de obras de control como los vertedores (Santos *et al.*, 2008). El agricultor que no maneje bien la tecnología enfrenta problemas tales como para lograr eficiencia en el uso del agua para riego (FAO, 2013).

Teniendo en cuenta los aspectos expresados anteriormente, el objetivo del trabajo consiste en proponer modelos matemáticos que permitan la simulación con exactitud del caudal en vertedores Sutros utilizados en sistemas de riego para la medición de caudales pequeños.

## MÉTODOS

La investigación se desarrolló en el Laboratorio de Mecánica de Fluidos e Hidráulica de la Universidad de San Carlos de Guatemala que consta de un sistema de abastecimiento de agua por medio de bombeo y un tanque para aforos volumétricos. Para el desarrollo de los experimentos se diseñaron y fabricaron nueve vertedores de tipo Sutro con una lámina de hierro de 3 mm de espesor y recubierta con pintura anticorrosiva para alargar el tiempo de uso del material (Figura 1).

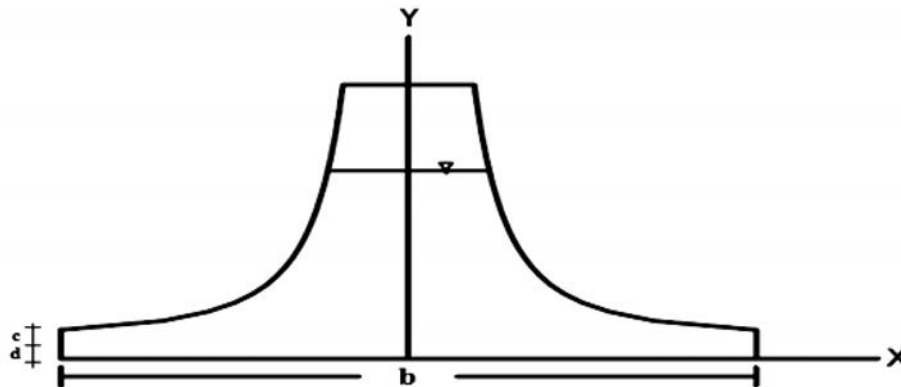


FIGURE 1. Scheme of the dimensioned Sutro weir  
FIGURA 1. Esquema del vertedor Sutro dimensionado.

The dimensions of the device were determined according to the general equation corresponding to the symmetrical weir which is written as follows:

$$x = \left( \frac{a}{H} \right)^{0.5} \quad (1)$$

$$d = c = \frac{4a}{b^2} \quad (2)$$

Where:

$x$  - distance from the center of the weir to the edge of the curvature (cm);

$H$  -height that water level reaches inside the weir (cm);

$a$  -constant of the weir curvature;

Las dimensiones del dispositivo se determinaron acorde con la ecuación general correspondiente al vertedero simétrico que se escribe de la forma siguiente:

$$x = \left( \frac{a}{H} \right)^{0.5} \quad (1)$$

$$d = c = \frac{4a}{b^2} \quad (2)$$

donde:

$x$  - distancia desde el centro del vertedor hasta el borde de la curvatura (cm);

$H$  -altura que alcanza el nivel de agua dentro del vertedor (cm);

$a$  -constante de curvatura del vertedor;

*b* - total width of the weir (cm);  
*c* and *d* - height components of the rectangular base (cm).

Each weir was designed for a different value of variable *a* (5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 90) giving a value for *x* that did not exceed the physical width of the channel.

In order to fix the weirs at the exit of the hydrodynamic canal and to avoid leaks or leaks that could affect the measurements, it was necessary to place rubber strips of 10 mm wide in the perimeter of all weirs.

Height measurements (*H*) were performed in the hydraulic canal where the supplied flow rate was rigorously controlled to achieve its stabilization; only those that were above the *c + d* value were considered as valid readings.

The distance (*d*) for *H* reading takings was calculated taking into account the condition  $d \geq 4H$ , measured from the weir position in the longitudinal direction. For each reading of load *H*, three volumetric readings were made to calculate by arithmetic average the flow through the weirs and later to obtain the experimental equation of each of them by means of the following equation:

$$Q_{obs} = \frac{V}{t} \quad (3)$$

Where:

$Q_{obs}$  - observed flow rate ( $L s^{-1}$ );  
*V* - volume captured in the calibrated container (L);  
*t* - time to capture the volume in the container (s).

The simulated flow in the weirs using a linear model was obtained through the following equation:

$$Q_{lin} = m \cdot H \quad (4)$$

Where:

$Q_{lin}$  - estimated flow rate using the linear function model ( $L s^{-1}$ );  
*m* - line slope obtained by relating the variables  $Q = f(H)$ ;  
*H* - height that water level reaches inside the weir (cm).

The theoretical flow that represents the flow through a Sutro weir was determined from the equation proposed by Sotelo (2002) which is written as:

$$Q_{teo} = \pi \sqrt{2ga}^{0.5} H \quad (5)$$

Where:

$Q_{teo}$  - theoretical flow calculated by Sotelo's equation ( $L s^{-1}$ );  
*a* - constant of weir curvature; *g* constant of gravity acceleration ( $m s^{-2}$ );  
*H* - height that water level reaches inside the weir (cm).

Adjusted flow rate was estimated from the equation proposed by Sotelo (2002), affected by a correction coefficient  $\mu$ , which constitutes a theoretical contribution in this investigation. The equation used was as follows:

$$Q_{ajus} = \mu \left( \pi \sqrt{2ga}^{0.5} H \right) \quad (6)$$

*b* - ancho total del vertedor (cm);  
*c* y *d*; componentes de la altura de la base rectangular (cm).

Cada vertedero fue diseñado para diferentes valores de la variable *a* (5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 90) que dieran un valor para *x* que no rebasara el ancho físico del canal.

Con el propósito de fijar el vertedero en la salida del canal hidrodinámico y evitar fugas o filtraciones que pudieran afectar las mediciones fue necesaria la colocación de tiras de caucho de 10 mm de ancho en el perímetro de todos los vertederos.

Las mediciones de altura (*H*) se realizaron en el canal hidráulico donde el caudal suministrado fue rigurosamente controlado para lograr su estabilización; sólo se consideró como lecturas válidas las que estuvieron por encima del valor *c+d*.

La distancia (*d*) para la toma de las lecturas *H* se calculó teniendo en cuenta la condición  $d \geq 4H$ , medida desde la posición del vertedero en sentido longitudinal. Por cada lectura de carga *H* realizada se efectuaron tres aforos volumétricos para calcular mediante promedio aritmético el caudal que circula por los vertederos y posteriormente obtener la ecuación experimental de cada uno de ellos mediante la siguiente ecuación:

$$Q_{obs} = \frac{V}{t} \quad (3)$$

donde:

$Q_{obs}$  - caudal observado ( $L s^{-1}$ );  
*V* - volumen captado en el recipiente calibrado (L);  
*t* - tiempo para captar el volumen en el recipiente (s).

El caudal simulado en el vertedor mediante un modelo lineal se obtuvo a través de la ecuación siguiente:

$$Q_{lin} = m \cdot H \quad (4)$$

donde:

$Q_{lin}$  - caudal estimado mediante el modelo de función lineal ( $L s^{-1}$ );  
*m* - pendiente de la recta obtenida al relacionar las variables  $Q = f(H)$ ;  
*H* - altura que alcanza el nivel de agua dentro del vertedor (cm).

El caudal teórico que representa el flujo a través de un vertedor Sutro se determinó a partir de la ecuación propuesta por Sotelo (2002), la cual se escribe como:

$$Q_{teo} = \pi \sqrt{2ga}^{0.5} H \quad (5)$$

donde:

$Q_{teo}$  - caudal teórico calculado mediante la ecuación propuesta por Sotelo (2002), ( $L s^{-1}$ );  
*a* - constante de curvatura del vertedor; *g* la constante de la aceleración de la gravedad ( $m s^{-2}$ );  
*H* - altura que alcanza el nivel de agua dentro del vertedor (cm).

El caudal ajustado se estimó a partir de la ecuación propuesta por Sotelo (2002), afectada por un coeficiente de corrección  $\mu$  el cual constituye un aporte teórico en esta investigación. La ecuación utilizada fue la siguiente:

$$Q_{ajus} = \mu \left( \pi \sqrt{2ga}^{0.5} H \right) \quad (6)$$



A coefficient  $K$  of the form is determined:

$$K = \frac{\pi \sqrt{2ga}^{0.5}}{1000} \quad (7)$$

Equation (6) can be rewritten as:

$$Q_{ajus} = \mu \cdot K \cdot H \quad (8)$$

Where:

$Q_{ajus}$  - adjusted flow rate (L s<sup>-1</sup>);

$m$  - coefficient of flow correction;

$K$  - coefficient obtained in equation (7);

$H$  - height that water level reaches inside the weir (cm).

General model for flow rate estimation according to any value of the weir curvature constant was obtained through a potential function generated from the computer statistical program Statistical Package for Social Sciences (SPSS). It is written as follows:

$$Q_{gen} = K \cdot a^n \cdot H \quad (9)$$

Where:

$Q_{gen}$  - general flow obtained by SPSS program (L s<sup>-1</sup>);

$a$  - constant of curvature of the weir;

$n$  - experimentally found exponent the Sutro weir built;

$H$  - height that reaches the water level inside the weir (cm).

The validation and calibration of the proposed models was done using the Average Percentage Error widely used to measure model performance (Zuñiga and Jordán, 2005). The equation used was as follows:

$$EPM = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(Q_{obs} - Q_{sim})^2}{Q_{obs}} 100 \quad (10)$$

Where:

$EPM$  - Average Percent Error (%);

$Q_{obs}$  - observed flow rate;

$Q_{sim}$  - simulated flow rate;  $n$  number of predicted flows

## RESULTS AND DISCUSSION

### Analysis of Models for Flow Estimation

Table 1 shows the different equations corresponding to the linear model ( $Q_{lin}$ ) in Sutro weir for different values of the curvature constant. It can be observed that the models found are adequately fitted to the experimental data. That is verified by the high values of the Coefficient of Determination, which was, in all cases, above 0.99. The slope of the linear adjustment curve ( $m$ ) increases gradually from 0.2335 to 0.8623.

Table 1 shows the values of  $\mu$  and  $K$ . The coefficient  $\mu$  was calculated in this research for the correction of the equation proposed by Sotelo. It behaved variably in all evaluations performed with values falling from 0.7504 to 0.6532. Coefficient  $K$  that groups the weir constant of curvature and gravity in Sotelo's equation, also varied, but increasingly from 0.3112 to 1.3201.

Se determina un coeficiente  $K$  de la forma:

$$K = \frac{\pi \sqrt{2ga}^{0.5}}{1000} \quad (7)$$

La ecuación (6) puede reescribirse como:

$$Q_{ajus} = \mu \cdot K \cdot H \quad (8)$$

donde:

$Q_{ajus}$  - caudal ajustado (L s<sup>-1</sup>);

$\mu$  -coeficiente de corrección del caudal;

$K$  -coeficiente obtenido en la ecuación (7);

$H$  -altura que alcanza el nivel de agua dentro del vertedor (cm).

El modelo general para la estimación del caudal en función de cualquier valor de la constante de curvatura del vertedor se obtuvo a través de una función potencial generada a partir del programa estadístico informático Statistical Package for the Social Sciences (SPSS). Este se escribe de la manera siguiente:

$$Q_{gen} = K \cdot a^n \cdot H \quad (9)$$

donde:

$Q_{gen}$  - caudal general obtenido mediante el programa SPSS (L s<sup>-1</sup>);

$a$  -constante de curvatura del vertedor;

$n$  -exponente encontrado experimentalmente el vertedor Sutro construido;

$H$  -altura que alcanza el nivel de agua dentro del vertedor (cm).

El proceso de calibración y validación de los modelos propuestos se realizó mediante el coeficiente de determinación  $R^2$  y el Error Porcentual Medio ampliamente utilizado para medir el desempeño de los modelos (Zuñiga y Jordán, 2005). La ecuación empleada fue la siguiente:

$$EPM = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(Q_{obs} - Q_{sim})^2}{Q_{obs}} 100 \quad (10)$$

donde:

$EPM$  -error porcentual medio (%);

$Q_{obs}$  -caudal observado;

$Q_{sim}$  -caudal simulado;

$n$  -número de caudales pronosticados.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Análisis de los modelos para la estimación de los caudales

En la tabla 1 se exponen las diferentes ecuaciones correspondientes al modelo lineal ( $Q_{lin}$ ) en vertedores Sutro para diferentes valores de la constante de curvatura. Se observa que los modelos encontrados se ajustan adecuadamente a los datos experimentales, lo cual se comprueba por los valores elevados del coeficiente de determinación que estuvo en todos los casos por encima de 0,99. La pendiente de la curva de ajuste lineal ( $m$ ) se incrementa de forma gradual desde 0,2335 hasta 0,8623.

En la propia Tabla 1 se muestran los valores de  $\mu$  y  $K$ . El coeficiente  $\mu$  fue calculado en esta investigación para la corrección de la ecuación propuesta por Sotelo. Este se comportó de forma variable en todas las evaluaciones realizadas con valores descendentes desde 0,7504 hasta 0,6532. El coeficiente  $K$  que agrupa a la constante de curvatura del vertedor y a la gravedad dentro de la ecuación de Sotelo, también varió pero de forma incremental desde 0,3112 a 1,3201.

**TABLE 1. Models Found for Flow Estimation**  
**TABLA 1. Modelos encontrados para la estimación del caudal**

a	$Q_{lin}$	$R^2$	$\mu$	K
5	$Q = 0.2335H$	0.9986	0.7504	0.3112
10	$Q = 0.3279H$	0.9997	0.7452	0.4400
20	$Q = 0.4450H$	0.9998	0.7151	0.6223
30	$Q = 0.5264H$	0.9998	0.6906	0.7622
40	$Q = 0.6390H$	0.9994	0.7261	0.8801
50	$Q = 0.6963H$	0.9988	0.7077	0.9840
60	$Q = 0.7796H$	0.9977	0.7232	1.0779
70	$Q = 0.8557H$	0.9972	0.7350	1.1643
90	$Q = 0.8623H$	0.9976	0.6532	1.3201

**Analysis of the Parameters  $\mu$  and  $m$  with Respect to Constant of Curvature ( $a$ )**

Figure 2 shows the results of the functional relationship between coefficient  $\mu$  and parameter  $a$ , in which it is verified that between these two parameters there is no correlation of potential type, with an acceptable coefficient of determination. Consequently, it has no practical importance in accordance with the objectives of the research, however, the relationship between the slope of the linear adjustment curve ( $m$ ) and the curvature constant satisfactorily responded to a potential function of type  $m = \alpha a^b$ , with a high determination coefficient of 0.9945 as shown in Figure 3.

**Análisis de los parámetros  $\mu$  y  $m$  respecto a la constante de curvatura ( $a$ )**

En la Figura 2 se presentan los resultados de la relación funcional entre en coeficiente  $\mu$  y el parámetro  $a$ ; en la cual se comprueba que entre estos dos parámetros no existe una correlación de tipo potencial, con un coeficiente de determinación aceptable; por lo que no tiene importancia práctica acorde con los objetivos de la investigación; sin embargo, la relación entre la pendiente de la curva de ajuste lineal ( $m$ ) y la constante de curvatura del vertedor respondió de forma satisfactoria a una función potencial del tipo  $m = \alpha a^b$  con un coeficiente de determinación alto de 0,9945 como se muestra en la Figura 3.

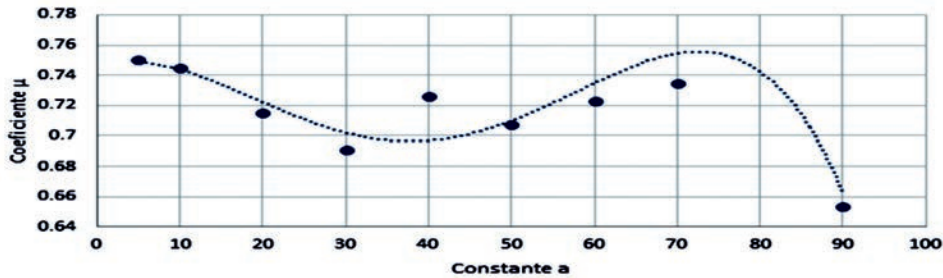


FIGURE 2. Relationship between Coefficient  $\mu$  and Constant of Curvature  
 FIGURA 2. Relación entre el coeficiente  $\mu$  y la constante de curvatura

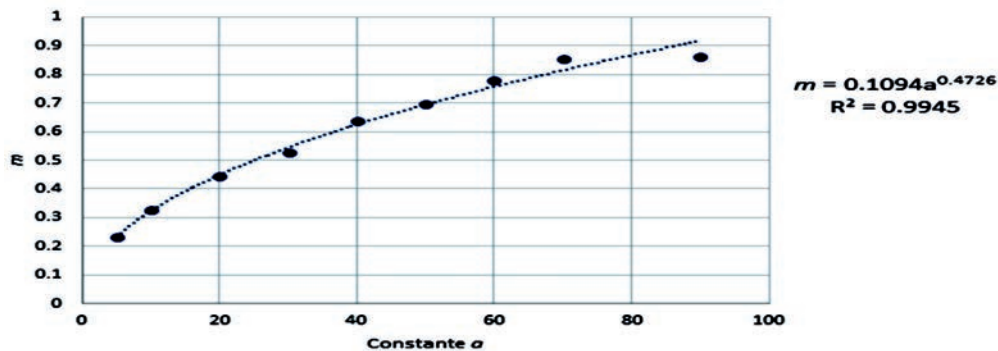


FIGURE 3. Relationship between Coefficient  $m$  and Constant of Curvature  
 FIGURA 3. Relación entre el coeficiente  $m$  y la constante de curvatura.

From the results obtained in the previous figure the mathematical deductions were made and they are shown next:

If a comparison is made between equation (4), which estimates the flow rate of the weir using a linear model ( $Q_{lin}$ ), and equation (6), for the determination of the flow rate from

A partir de los resultados alcanzados en la figura anterior se hicieron las deducciones matemáticas que se demuestran a continuación:

Si se hace una comparación entre la ecuación (4) que estima el caudal del vertedor mediante un modelo lineal ( $Q_{lin}$ ) y la ecuación (6)

the equation proposed by Sotelo, affected by the correction coefficient  $m$ , it can be written that, by analogy, the coefficient  $m$  can be calculated as:

$$m = \pi \sqrt{2g} \mu a^{0.5} \quad (11)$$

According to graph 3, the slope  $m$  can also be calculated by the following equation:

$$m = 0.1094a^{0.4726} \quad (12)$$

If both coefficients  $m$  are equalized and then  $\mu$  is cleared, a new value of this coefficient is obtained as a function of the weir constant of curvature; this is:

$$\pi \sqrt{2g} \mu a^{0.5} = 0.1094a^{0.4726} \quad (13)$$

Clearing gives the value of  $\mu$ :

$$\mu = \frac{0.1094a^{0.4726}}{\pi \sqrt{2g} a^{0.5}} \quad (14)$$

If the value of gravity acceleration ( $g = 981 \text{ cm s}^{-2}$ ) is introduced in Eq. (14) then:

$$\mu = \frac{7.86 \cdot 10^{-4}}{a^{0.0274}} \quad (15)$$

This new value of  $\mu$  has a better functional relation with the weir constant of curvature ( $a$ ) and responds correctly to a potential function as it is observed in Figure 4; therefore, it adapts to the characteristics of Sutro weir operation.

para la determinación del caudal ajustado a partir de la ecuación propuesta por Sotelo afectada por el coeficiente de corrección  $\mu$ , se puede escribir que por analogía el coeficiente  $m$  puede calcularse como:

$$m = \pi \sqrt{2g} \mu a^{0.5} \quad (11)$$

Según el grafico de la Figura 3, la pendiente  $m$  también puede calcularse por la ecuación siguiente:

$$m = 0.1094a^{0.4726} \quad (12)$$

Si se igualan ambos coeficientes  $m$  y luego se despeja  $\mu$ , se obtiene un nuevo valor de este coeficiente en función de la constante de curvatura del vertedor; esto es:

$$\pi \sqrt{2g} \mu a^{0.5} = 0.1094a^{0.4726} \quad (13)$$

Despejando se obtiene el valor de  $\mu$ :

$$\mu = \frac{0.1094a^{0.4726}}{\pi \sqrt{2g} a^{0.5}} \quad (14)$$

Si se introduce en la ecuación (14) el valor de la aceleración de la gravedad ( $g = 981 \text{ cm s}^{-2}$ ) se obtiene:

$$\mu = \frac{7.86 \cdot 10^{-4}}{a^{0.0274}} \quad (15)$$

Este nuevo valor de  $\mu$  presenta una mejor relación funcional con la constante de curvatura del vertedor ( $a$ ) y responde acertadamente a una función potencial como se observa que la Figura 4; por lo que se adapta a las características del funcionamiento del vertedor Sutro.

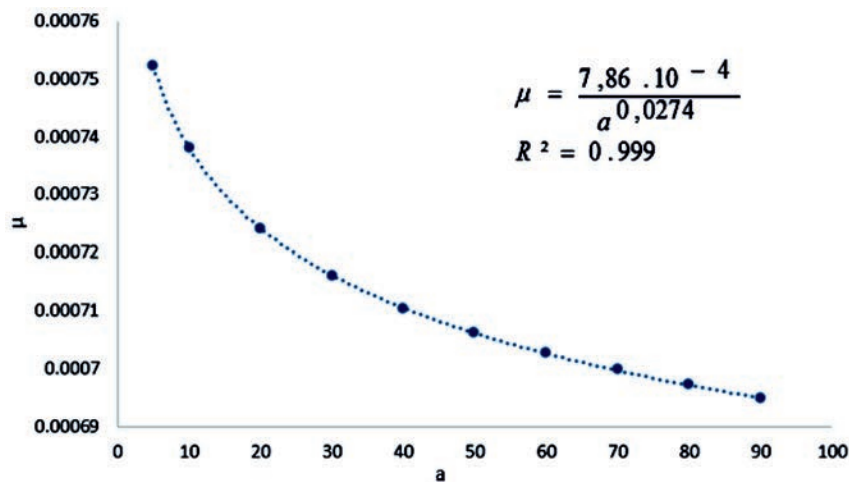


FIGURE 4. Relationship between the New Value of  $\mu$  and the Constant of Curvature  
 FIGURA 4. Relación entre el nuevo valor de  $\mu$  y la constante de curvatura.

The model for estimating Sutro weir flow obtained by the SPSS program ( $Q_{gen}$ ) is as follows:

$$Q_{gen} = 0.152653 \cdot a^{0.364} \cdot H \quad (16)$$

$$R^2 = 0.972$$

This model has a high coefficient of determination and allows estimating the value of the flow rate that a Sutro weir discharges for any value of the curvature constant ( $a$ ) from the

El modelo para estimar el caudal del vertedor Sutro obtenido mediante el programa SPSS ( $Q_{gen}$ ) es el siguiente:

$$Q_{gen} = 0.152653 \cdot a^{0.364} \cdot H \quad (16)$$

$$R^2 = 0.972$$

Este modelo presenta un elevado coeficiente de determinación y permite estimar el valor del caudal que descarga un vertedor Sutro para cualquier valor de la constante de curvatura ( $a$ ) a partir de la

water height measurement ( $H$ ). The comparison of this model with the equation proposed by Sotelo shows that the coefficient  $a \neq 0.5$ . Therefore, the arbitrary use of the constant value of 0,5 leads to an error in flow rate estimation.

**Analysis of the Errors Made by the Models in the Estimation of the Flow**

Errors in the experimental process are shown in Table 2, where it can be seen that the models to determine  $Q_{lin}$ ,  $Q_{ajus}$  and  $Q_{gen}$  flow rates have values lower than 3%, consequently, they can be used reliably in flow measurement in open conduits. That is because the errors are below the allowable maximum limit of 5%. The most accurate results were found in  $Q_{lin}$  and  $Q_{ajus}$  models with an error lower than 0.3%.  $Q_{gen}$  produced the greatest error with a value of 2.834%.

medición de la altura del agua sobre la escotadura ( $H$ ). La comparación de este modelo con la ecuación propuesta por Sotelo permite ver que el coeficiente  $a \neq 0,5$ ; por tanto, el uso arbitrario del valor constante de 0,5 conduce a un error en la estimación del caudal.

**Análisis de los errores cometidos por los modelos en la estimación del caudal**

Los errores cometidos en el proceso experimental se muestran en la tabla 2, donde se observa que los modelos para determinar los caudales  $Q_{lin}$ ,  $Q_{ajus}$  y  $Q_{gen}$  presentan valores inferiores al 3 % por lo que pueden ser utilizados de manera confiable en la medición de caudales en conductos abiertos. Esto se debe a que los errores están por debajo del límite máximo permisible de 5 %. Los resultados más precisos se encontraron en los modelos  $Q_{lin}$  y  $Q_{ajus}$  con un error inferior al 0,3 %. El que produjo mayor error fue el  $Q_{gen}$  con un valor de 2,834 %.

**TABLE 2. Flows and Experimental Errors of Models Obtained**  
**TABLA 2. Caudales y errores experimentales de los modelos obtenidos**

$H$ (cm)	$Q_{obs}$ ( $L s^{-1}$ )	$Q_{lin}$ ( $L s^{-1}$ )	$Q_{ajus}$ ( $L s^{-1}$ )	$Q_{gen}$ ( $L s^{-1}$ )	$Q_{lin}$ (%)	$Q_{ajus}$ (%)	$Q_{gen}$ (%)
8.1	2.652	2.656	2.646	2.859	0.000006	0.000016	0.016133
9.4	3.084	3.082	3.058	3.318	0.000001	0.000225	0.017705
11.0	3.633	3.607	3.563	3.882	0.000188	0.001360	0.017118
12.2	4.031	4.000	3.940	4.306	0.000233	0.002046	0.018749
13.5	4.455	4.427	4.348	4.765	0.000180	0.002572	0.021535
15.3	5.029	5.017	4.911	5.400	0.000029	0.002777	0.027375
16.8	5.461	5.509	5.378	5.929	0.000417	0.001247	0.040185
18.4	6.008	6.033	5.876	6.494	0.000107	0.002898	0.039340
20.1	6.555	6.591	6.403	7.094	0.000195	0.003506	0.0443648
24.0	7.902	7.870	7.609	8.471	0.000133	0.010879	0.040921
		Mean			0.015	0.275	2.834

The results of the research confirm the need to calibrate weirs to achieve accurate flow estimates. In this sense, Crookston and Tullis (2013) affirm that the drainage capacity of weirs is determined by the discharge coefficient that is specific for each geometry of the weir (San Mauro *et al.*, 2016); but it should be obtained by testing to achieve the required accuracy (Boss *et al.*, 1986, Aguilar 2001, Santos *et al.*, 2010).

Knowledge the amount of water available is an indispensable requirement to manage this resource with different purposes in an efficient way (Rázuri *et al.*, 2009; Ayala and Albóniga, 2015). In the specific case of irrigation systems, it is necessary to effectively manage water metering and control devices to regulate the amount of water used by the consumer and to contribute to reduce overexploitation of aquifers and energy savings due to lower needs (García and Pérez, 2004; IDAE, 2005; Tarjuelo, 2005; Fernández *et al.*, 2009).

**Analysis of Water Speed at the Weir Outlet**

The results of the tests performed for estimating Sutro weir flow, allowed the determination of water speed at the weir outlet from the continuity equation and the definition of a procedure to find the mean speed in this type of weir.

Los resultados de la investigación confirman la necesidad de calibrar los vertedores para lograr estimaciones precisas de los caudales. En este sentido Crookston y Tullis (2013), afirman que la capacidad de desagüe de los vertedores viene determinada por el coeficiente de descarga que resulta específico para cada geometría del vertedor (San Mauro *et al.*, 2016); pero deben ser obtenidos mediante ensayos para que se alcance la precisión requerida (Boss *et al.*, 1986; Aguilar y Rivas, 2001; Santos *et al.*, 2010).

El conocimiento de la cantidad de agua disponible es un requisito indispensable para manejar este recurso con distintos propósitos de una manera eficiente (Rázuri *et al.*, 2009; Ayala y Albóniga, 2015). En el caso específico de los sistemas de riego es necesario el manejo eficaz de los dispositivos de medición y control del agua para el control de la cantidad de agua empleado por el usuario y contribuya a disminuir la sobreexplotación de acuíferos y al ahorro energético por menores necesidades de bombeo (García y Pérez, 2004; IDAE, 2005; Tarjuelo, 2005; Fernández *et al.*, 2009).

**Análisis de la velocidad del agua a la salida del vertedor**

Los resultados de las pruebas realizadas para la estimación del caudal en el vertedor Sutro permitió la determinación de la velocidad del agua a la salida del vertedor a partir de la ecuación



$$Q = v \cdot A \tag{17}$$

$$A = 2 \left[ b \cdot c + 2a^{0.5} (H^{0.5} - c^{0.5}) \right] \tag{18}$$

Where:

$Q$  - flow rate ( $\text{cm}^3 \text{s}^{-1}$ );

$V$  - speed ( $\text{cm s}^{-1}$ );

$a$  - area under the curve for a proportional symmetrical weir ( $\text{cm}^2$ )

In order to determine the mean speed for each weir, the speeds are taken into account where its length is at least 65% of the maximum water depth.

The results of the investigation allowed finding a correct relation between the water speed at the outlet of the weir and the curvature constant with a determination coefficient  $R^2$  of 0.8961, as shown in Figure 5. The model found is of the simple linear type, where the slope represents the weir constant of curvature.

ción de continuidad y la definición de un procedimiento para encontrar la velocidad media en este tipo de vertedor.

$$Q = v \cdot A \tag{17}$$

$$A = 2 \left[ b \cdot c + 2a^{0.5} (H^{0.5} - c^{0.5}) \right] \tag{18}$$

donde:

$Q$  - caudal ( $\text{cm}^3 \text{s}^{-1}$ );

$v$  - velocidad ( $\text{cm s}^{-1}$ );

$A$  - área bajo la curva para un vertedero proporcional simétrico ( $\text{cm}^2$ ).

Para determinar la velocidad media para cada vertedero, se toman en cuenta las velocidades donde su tirante sea como mínimo el 65% del tirante máximo.

Los resultados de la investigación permitieron encontrar una relación acertada entre la velocidad de agua a la salida del vertedor y la constante de curvatura con un coeficiente de determinación  $R^2$  de 0,8961 como se muestra en la Figura 5. El modelo encontrado es del tipo lineal simple donde la pendiente representa la constante de curvatura del vertedor

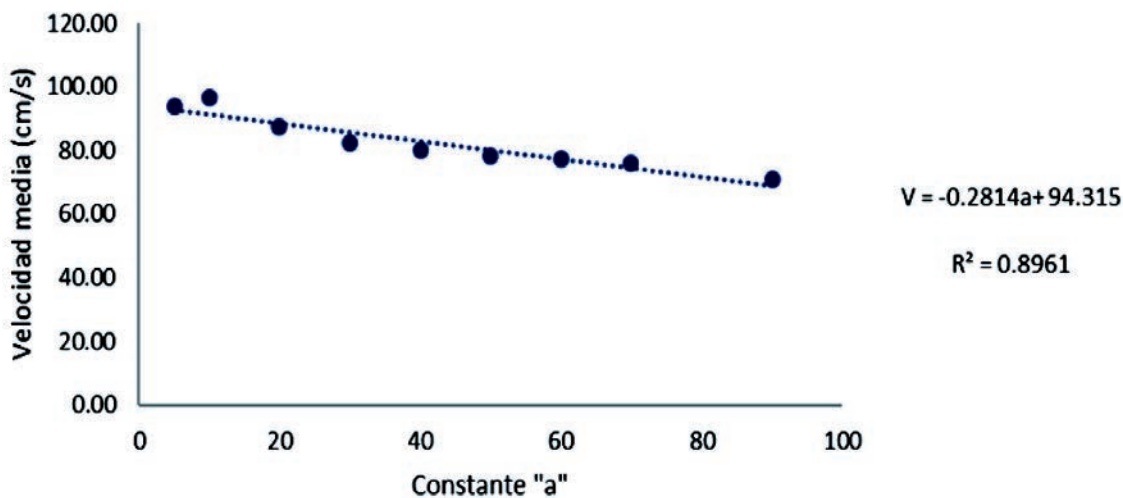


FIGURE 5. Relationship between the New Value of  $v_m$  and the Constant of Curvature  
 FIGURA 5. Relación entre el nuevo valor de  $v_m$  y la constante de curvatura.

## CONCLUSIONS

- Discharge coefficients  $\mu$  experimentally obtained are not constant and vary between 0.6532 and 0.7504.
- A potential model type  $\mu = 7.86 \cdot 10^{-4} a^{-0.0274}$  was proposed for the correction of the discharge coefficient which greatly improves the accuracy of Sotelo's equation. A mathematical model that relates mean speed and constant of curvature, with a correlation coefficient of 0.8961, was found.
- The results of the investigation allowed finding a correct relation between water speed at the weir outlet and the curvature constant with a determination coefficient  $R^2$  of 0.8961.
- For estimating mean water speed in each weir, water depth with values greater than 65% of the maximum water depth should be used in order to reach minimal speed variation.

## CONCLUSIONES

- Los coeficientes de descarga  $\mu$  obtenidos de forma experimental no son constantes y varían entre 0,6532 y 0,7504.
- Se propuso un modelo potencial del tipo  $\mu = 7,86 \times 10^{-4} a^{-0,0274}$  para la corrección del coeficiente de descarga que mejora grandemente la precisión de la ecuación de Sotelo. Se encontró un modelo matemático que relaciona la velocidad media y la constante  $a$ , con un coeficiente de correlación de 0,8961.
- Los resultados de la investigación permitieron encontrar una relación acertada entre la velocidad de agua a la salida del vertedor y la constante de curvatura con un coeficiente de determinación  $R^2$  de 0,8961.
- En la estimación de velocidad media de agua en cada vertedor debe utilizarse los tirantes con valores superiores al 65% del tirante máximo, con el propósito de que la variación de las velocidades sea mínima.

## REFERENCES/ REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUILAR, A.; RIVAS, I.: *Vertedores*, [en línea], Ed. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, México, 2001, ISBN: 968-5536-02-3, Disponible en: [http://repositorio.imta.mx/bitstream/20.500.12013/1115/1/IMTA\\_097.pdf](http://repositorio.imta.mx/bitstream/20.500.12013/1115/1/IMTA_097.pdf), [Consulta: 22 de junio de 2016].
- AYALA, L.J.C.; ALBÓNIGA, G.R.: “Dispositivo electrónico de medición del caudal de agua para canales abiertos”, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 24(Suppl.): 91-99, 2015, ISSN: 2071-0054.
- BELLO, M.; PINO, M.: “Medición de presión y caudal”, *Boletín INIA*, (28): 21, 2000, ISSN: 0717-4829.
- BOS, M.G.; REPLOGLE, J.A.; CLEMMENS, A.J.: *Aforadores de caudal para canales abiertos*, ser. ILRI publication, no. ser. 38, Ed. International Institute for Land Reclamation and Improvement, Wageningen, 293 p., 1986, ISBN: 978-90-70260-92-7.
- CADAVID, J.H.: *Hidráulica de canales: fundamentos*, Ed. Fondo Editorial Universidad EAFIT, Medellín, Colombia, 369 p., 2006, ISBN: 978-958-8281-28-5.
- CROOKSTON, B.M.; TULLIS, B.P.: “Hydraulic Design and Analysis of Labyrinth Weirs. I: Discharge Relationships”, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 139(5): 363-370, 2013, ISSN: 0733-9437, DOI: 10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0000558.
- FAO: *Captación y almacenamiento de agua de lluvia. Opciones técnicas para la agricultura familiar en América Latina y el Caribe*, [en línea], Ed. FAO - FIDA, Chile, 270 p., 2013, ISBN: 978-92-5-307581-2, Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/019/i3247s/i3247s.pdf>, [Consulta: 23 de junio de 2016].
- FERNÁNDEZ, C.A.; HOLZAPFEL, E.; DEL CALLEJO, I.; BILLIB, M.: *Manejo sostenible del agua para riego en sudamérica*, Inst. Instituto Argentino de Investigaciones de las Zonas Áridas - Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina, 183 p., 2009, ISBN: 978-987-25074-1-1.
- GARCÍA, G.S.; PÉREZ, L.J.R.: “Resultados de la introducción del riego por goteo en la cooperativa de producción agropecuaria cañera «Primer Soviet de America»”, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 13(1): 47-51, 2004, ISSN: 2071-0054.
- GONZÁLEZ, A.; RAMÍREZ, J.D.: *Manual piragüero. 3-Medición del caudal*, Ed. Comunicaciones Corantioquia, 1.ª ed., Colombia, 2014, ISBN: 978-958-57280-7-3.
- IDAE (INSTITUTO PARA LA DIVERSIFICACIÓN Y AHORRO DE LA ENERGÍA): *Ahorro y eficiencia energética en agricultura de regadío*, ser. Ahorro y eficiencia energética en la agricultura, no. ser. 2, Ed. Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía, Madrid, España, 36 p., 2005, ISBN: 978-84-86850-94-4.
- RÁZURI, L.R.; ROSALES, J.G.; HERNÁNDEZ, J.D.: “Formulación de alternativas de uso del agua con base en el balance disponibilidad-demanda en la zona de Santa Rosa, sector La Hechicera del estado Mérida”, *Academia*, 8(16): 46-64, 2009, ISSN: 1690-3226.
- RÍOS, J.A.; ESCOBAR, J.F.; PALACIO, I.: *Guía metodológica para determinar módulos de consumo y factores de vertimiento de agua*, Ed. Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 1.ª ed., Medellín, Colombia, 76 p., 2010, ISBN: 978-958-44-7731-6.
- SAN MAURO, J.; SALAZAR, F.; TOLEDO MUNICIO, M.A.; CABALLERO, F.J.; PONCE-FARFÁN, C.; RAMOS, T.: “Modelación física y numérica de aliviaderos en laberinto con fondo poliédrico”, *Ingeniería del Agua*, 20(3): 127-138, 2016, ISSN: 1886-4996, 1134-2196.
- SANTOS, A.C.; CUBILLOS, C.E.; VARGAS, A.: “Modelación hidráulica de un sector de río caudaloso con derivaciones empleando HEC-RAS”, *Avances en Recursos Hidráulicos*, (17), 2008, ISSN: 0121-5701, Disponible en: <http://revistas.unal.edu.co/index.php/arh/article/view/9288>, [Consulta: 23 de junio de 2016].
- SANTOS, L.; DE JUAN, J.A.; PICORNELL, M.R.; TARJUELO, J.M.: *El riego y sus tecnologías*, [en línea], Ed. Centro Regional de Estudios del Agua (CREA)- Universidad de Castilla-La Mancha (UCLM), España, 296 p., 2010, ISBN: 978-84-692-9979-1, Disponible en: <https://es.slideshare.net/GuillermoSarah/el-riego-ysustecnologias>, [Consulta: 23 de junio de 2016].
- SOTELA, G.: *Hidráulica general*, Ed. Limusa, México, 2002, ISBN: 978-968-18-0503-6.
- TARJUELO, J.M.: *El riego por aspersión y su tecnología*, [en línea], Ed. Mundi-Prensa, 581 p., 2005, ISBN: 978-84-8476-225-6, Disponible en: <https://books.google.com/books?id=wMJzLxduGjsC>, [Consulta: 23 de junio de 2016].
- ZÚÑIGA, A.; JORDÁN, C.: “Pronóstico de caudales medios mensuales empleando Sistemas Neurofuzzy”, *Revista Tecnológica - ESPOL*, 18(1): 17-23, 2005, ISSN: 1390-3659.

Received: 20/10/2016.

Approved: 15/06/2017.

Luis Manuel Sandoval Mendoza, Ing., Prof., Universidad de San Carlos (USAC), Facultad de Ingeniería, Guatemala. E-mail: [ingluisandoval@gmail.com](mailto:ingluisandoval@gmail.com)

Mayra Isabel Juárez Bonilla, E-mail: [ingluisandoval@gmail.co](mailto:ingluisandoval@gmail.co)

Oscar Brown Manrique, E-mail: [obrown@unica.cu](mailto:obrown@unica.cu)

Albi Mujica Cervantes; E-mail: [albis@unica.cu](mailto:albis@unica.cu)

Jorge Douglas Bonilla Rocha, E-mail: [obrown@unica.cu](mailto:obrown@unica.cu)

Yurisbel Gallardo Ballat, E-mail: [obrown@unica.cu](mailto:obrown@unica.cu)

Note: the mention of commercial equipment marks, instruments or specific materials obeys identification purposes, there is not any promotional commitment related to them, neither for the authors nor for the editor.



# Structural and Functional Evaluation of Humic Acids in Interaction with Toxic Metals in a Cultivar of Agricultural Interest

## *Avaliação estrutural e funcional dos ácidos húmicos na interação com metais tóxicos em um cultivar de interesse agrícola*

PhD. Liane Portuondo-Farías<sup>I</sup>, PhD. Dariellys Martínez-Balmori<sup>I</sup>, PhD. Fernando Guridi-Izquierdo<sup>I</sup>,  
PhD. Andrés Calderín-García<sup>II</sup>, PhD. João Paulo Machado-Torres<sup>III</sup>

<sup>I</sup> Universidad Agraria de La Habana, Facultad de Agronomía, Departamento de Química, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba.

<sup>II</sup> Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Laboratório de Solos, Rio de Janeiro, Brasil.

<sup>III</sup> Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Laboratório de Radioisótopos. IBCCF-CCS, Rio de Janeiro, Brasil.

**ABSTRACT.** There are plants with the capacity to tolerate stress conditions due to toxic metals by developing mechanisms that allow them to maintain homeostasis. The purpose of this paper was to verify, after the addition of humic acids, as possible stimulators of these mechanisms, the activity of phenylalanine-ammonium-lyase and nitrate reductase enzymes, content of total nitrate, proline, (as components both of the antioxidant system of bean) as well as nitrogen, in plants subjected to stress by Pb<sup>2+</sup>. Bean seeds were planted in a typical red Ferralitic soil, artificially contaminated with 100 mg kg<sup>-1</sup> of Pb<sup>2+</sup>. Fifteen days after germination, the plants were treated with humic acid solutions at concentrations of 20, 40 and 60 mg L<sup>-1</sup> through foliar spraying, on the first and first trifoliolate leaves. Every fifteen days enzyme activities were analyzed. Results showed a decrease of biochemical-physiological effects caused by Pb<sup>2+</sup> in the enzymatic systems of plants treated with humic acids, stating categorically that they may mitigate the stress provoked by metals in the phenological stages evaluated in bean crop, being 40 mg L<sup>-1</sup> the most prominent dosage.

**Keywords:** humic substance, oxidative stress, defense mechanism

**RESUMO.** Existem plantas que tem a capacidade de tolerar condições de estresse por metais tóxicos, desenvolvendo mecanismos que permitem manter a homeostase. Objetivou-se com o presente trabalho verificar a partir da adição de ácidos húmicos - como possíveis estimuladores destes mecanismos - a atividade das enzimas fenilalanina-amônio-liase, nitrato reductase, conteúdo de nitratos totais e prolina, como componentes tanto do sistema de defesa antioxidante de plantas de feijão como do nitrogênio, submetidas a estresse por Pb<sup>2+</sup>. Sementes de feijão foram semeadas num solo Ferralítico vermelho típico contaminado artificialmente com 100 mg kg<sup>-1</sup> de Pb<sup>2+</sup>. Após 15 dias de germinadas, as plantas foram tratadas com soluções de ácidos húmicos nas concentrações de 20, 40 e 60 mg L<sup>-1</sup> mediante aspersão foliar na folha primária e na primeira folha trifoliolada e a cada 15 dias foram analisadas a atividade das enzimas. Os resultados evidenciaram uma atenuação dos efeitos bioquímico-fisiológicos causados pelo Pb<sup>2+</sup> nos sistemas enzimáticos das plantas tratadas com ácidos húmicos, concluindo que os mesmos podem amenizar o estresse provocado pelo metal nas fases fenológicas avaliadas no cultivo do feijão, sendo a dose de 40 mg L<sup>-1</sup> a mais promissória.

**Palavras chave:** substâncias húmicas, estresse oxidativo, mecanismos de defesa.

## INTRODUCTION

Soil contamination by xenobiotics requires the application of technologies to their recovery often inaccessible.

## INTRODUÇÃO

A contaminação dos solos por xenobióticos exige a aplicação de tecnologias muitas vezes inacessíveis para sua recuperação, e a

Plants with potential for phytoextraction can, in many cases, act as phytoremediation agents. One of the main environmental sources of metals such as  $Pb^{2+}$  has been gasoline, and exposure to it, in professional environment, occurs mainly in mining and manufacturing of inks, tiles and ceramics. In the case of plants, the cation can cause: (i) disturbances in mitosis; (ii) induction of micronuclei; (iii) alteration in membrane permeability and (iv) variation in enzymatic activity in response to oxidative stress generated in the cellular interior by the metal (Corpas & Barroso, 2016).

Current research highlights the use of plants or microorganisms in the rehabilitation of degraded areas, once few forms of life survive in these conditions. It has been shown that some legume species have potential for phytoextraction of the metal reaching up to  $400 \text{ mg kg}^{-1}$  of  $Pb^{2+}$  in the roots (Almeida *et al.*, 2008), indicating that there are mechanisms not studied yet, that allow tolerance of these plants to the contaminated environment. Recently, the beneficial effects of humic acids (HA) as constituents of soil organic matter have been demonstrated. These effects include the stimulation of different biochemical-physiological processes such as: (i) emergence and proliferation of lateral roots from sites of mitosis; (ii) modifications in the activity of various enzymes and intracellular metabolite content; (iii) variation in the synthesis of pigments and; (iv) hormone-like activity (García *et al.*, 2016). For this reason the objective of this work is to evaluate the potential of HA in the modification of the defense mechanisms of bean plants subjected to stress by  $Pb^{2+}$ , trying to elucidate the intermolecular interaction that binds the humic components to the metal to establish a more precise relationship in a plant - humic acid - metal system.

## METHODOLOGY

The work was developed in greenhouse. Plant material was obtained from the germination of bean seeds (*Phaseolus vulgaris* L. var. CC-25-9-N) certified by the National Institute of Agricultural Sciences of Cuba. The HA were extracted from vermicompost of bovine manure with three months of maturation and from them the chemical, physical and spectroscopic characterization was performed. The values obtained from H/C, O/C, C/N and total acidity showed similarities to those reported by the International Humic Substances Society (IHSS).

**Treatments** – Seeds were sown in two plant beds of  $0,50 \text{ m} \times 2,30 \text{ m}$  on a typical Red Ferrallitic soil according to Cuban classification (Hernández, 1999), type Ferrasols according to world reference databases (IUSS, 2007). One of them was previously contaminated with  $Pb^{2+}$  ( $100 \text{ mg kg}^{-1}$ ) and the other one was not contaminated. Each plant bed was divided into four parts, three treatments and one control ( $4 \times 2$ ), resulting in eight treatments, each with 30 plants. After germination, the plants were treated with foliar applications of HA in the concentrations of 20, 40 and  $60 \text{ mg L}^{-1}$  and water as control. Applications were made in the mornings from the emission of the primary leaves and the first trifoliate leaf (FTL). Enzymatic activities were determined with the emission of the FTL and the third trifoliate leaf (TTL).

utilização de plantas, especificamente aquelas com potencial para a fitoextração, podem em muitos casos atuar como agentes de fitorremediação. Uma das principais fontes ambientais de alguns metais como o  $Pb^{2+}$  tem sido a gasolina, e a exposição ao mesmo no meio profissional é produzida fundamentalmente em atividades de mineração e fabricação de tintas, louças e cerâmicas. No caso das plantas esse cátion pode provocar: (i) distúrbios na mitose; (ii) indução de micronúcleos; (iii) alteração da permeabilidade da membrana e; (iv) variação na atividade de enzimas, em resposta ao estresse oxidativo gerado no interior celular pelo metal (Corpas y Barroso, 2016).

Várias pesquisas destacam o uso de plantas ou microrganismos na reabilitação de áreas degradadas, uma vez que poucas formas de vida sobrevivem nestas condições. Tem-se demonstrado que algumas espécies de leguminosas possuem potencial para a fitoextração do metal atingindo até  $400 \text{ mg kg}^{-1}$  de  $Pb^{2+}$  nas raízes (Almeida *et al.*, 2008), o que indica que existem mecanismos ainda não estudados que permitem a tolerância destas plantas ao meio contaminado. Recentemente têm se mostrado os efeitos benéficos dos ácidos húmicos (AH) como constituintes da matéria orgânica do solo. Estes efeitos incluem à estimulação de diferentes processos bioquímico-fisiológicos como: (i) emergência e proliferação de raízes laterais a partir de sítios específicos de mitose; (ii) modificações nas atividades de diversas enzimas e conteúdo de metabolitos intracelulares; (iii) variação na síntese de pigmentos e; (iv) atividade tipo hormonal (García *et al.*, 2016). Por esta razão objetivou-se com o presente trabalho avaliar as potencialidades dos AH na modificação dos mecanismos de defesa de plantas de feijão que estejam submetidas ao estresse por  $Pb^{2+}$ , tentando também elucidar a interação intermolecular que liga os componentes húmicos ao metal para estabelecer uma relação mais precisa num sistema planta - ácido húmico - metal.

## METODOLOGIA

O trabalho foi desenvolvido em casa de vegetação. O material vegetal foi obtido a partir da germinação de sementes de feijão (*Phaseolus vulgaris* L. var. CC-25-9-N) certificadas pelo Instituto Nacional de Ciências Agrícolas de Cuba. Os AH foram extraídos a partir de vermicomposto de esterco bovino com três meses de maturidade e deles foi feita a caracterização química, física e espectroscópica. Os valores obtidos das relações H/C, O/C, C/N e acidez total mostraram semelhança aos informados pela International Humic Substances Society (IHSS).

**Tratamentos** – As sementes foram semeadas em dois canteiros de  $0,50 \text{ m} \times 2,30 \text{ m}$  de longitude em um solo Ferralítico vermelho típico segundo a classificação cubana (Hernández *et al.*, 1999), tipo Ferrasols segundo bases de dados de referência mundial (IUSS Working Group WRB, 2007), sendo um dos canteiros previamente contaminado com  $Pb^{2+}$  ( $100 \text{ mg kg}^{-1}$ ) e outro não contaminado. Cada canteiro foi dividido em quatro partes, três tratamentos e um controle ( $4 \times 2$ ), resultando em oito tratamentos, cada um com 30 plantas. Após a germinação, as plantas foram tratadas com aplicações foliares de AH nas concentrações de 20, 40 e  $60 \text{ mg L}^{-1}$  e água como controle. As aplicações foram realizadas nas manhãs a partir da emissão da folha primária e da primeira folha trifoliolada (PFT). As atividades enzimáticas foram determinadas com a emissão da PFT e da terceira folha trifoliolada (TFT).



**Enzymatic analyses** – Phenylalanine-ammonium-lyase enzyme (PAL) quantification was performed from an enzymatic extract and subsequent incubation at 40 °C for 30 minutes. Absorbance was read at 290 nm (Zhang *et al.*, 2000). For proline the plant material was homogenized with 3 % sulfosalicylic acid and absorbance at 520 nm was read using toluene as “blank” (Bates *et al.*, 1973). Nitrate reductase (NR) and total nitrate content were determined according to Harper (1981) and the absorbance was read at 540 and 410 nm, respectively, in a spectrophotometer (RayLihght UV-2100). All reagents used were of the highest purity purchased from Merck and Sigma-Aldrich.

**Determination of Pb<sup>2+</sup>** – Analytical determinations of Pb<sup>2+</sup> were performed in a Fast Sequential Atomic Absorption Spectrometer VARIAN - AA240FS in the Radioisotope Laboratory of the IBCCF of UFRJ. The plants were subjected to digestion with HNO<sub>3</sub> until total solution and for pseudototal Pb<sup>2+</sup> of the soil a digestion with aqua regia (HCl + HNO<sub>3</sub> - 3:1) was used through the microwave digestion system (CEM - model MDS-2000) with the extract recovered in 50 mL (Nieuwenhuize *et al.*, 1991). Results concerning Pb<sup>2+</sup> determination were performed taking into consideration certified reference materials (NIST SRM 2709 for soil and NIST SRM 1573<sup>a</sup> for the case of plants).

**Statistical analysis** – Information obtained was processed through analysis of variance (ANOVA) using the statistical package Statgraphic v. 5.1 plus and  $p < 0,05$  (Tukey) for the means comparison test.

## RESULTS AND DISCUSSION

### Components of antioxidant metabolism and of nitrogen

– In vegetative phase of the bean under stress conditions; it was found that the biosynthesis of phenolic compounds is favored, given the high activity of the PAL in the different treatments (Figure 1).

**Análise enzimática** – A quantificação da enzima Fenilalanina-amônio-liase (PAL) foi feita a partir de um extrato enzimático e posterior incubação a 40 °C durante 30 minutos sendo lida à absorbância de 290 nm (Zhang *et al.*, 2000). Para o caso da prolina o material vegetal foi homogeneizado com ácido sulfosalicílico 3 % sendo a absorbância lida a 520 nm utilizando tolueno como branco (Bates *et al.*, 1973). A determinação da Nitrato reductase (NR) e do conteúdo de Nitratos totais foram feitos segundo Harper (1981), sendo lida à absorbância de 540 e 410 nm respectivamente num espectrofotômetro (RayLihght UV-2100). Todos os reagentes utilizados foram da mais alta pureza adquiridos da Merck e da Sigma-Aldrich.

**Determinação de Pb<sup>2+</sup>** – As determinações analíticas do Pb<sup>2+</sup> foram feitas num Fast Sequential Atomic Absorption Spectrometer VARIAN – AA240FS no Laboratório de Radioisótopos do IBCCF da UFRJ. As plantas foram submetidas a digestão com HNO<sub>3</sub> até dissolução total e para o Pb<sup>2+</sup> pseudototal no solo foi utilizada a digestão com água-régia (HCl + HNO<sub>3</sub> - 3:1) através de sistema de digestão em forno de micro-ondas (CEM - modelo MDS-2000) sendo o extrato recuperado em 50 mL (Nieuwenhuize *et al.*, 1991). Os resultados relativos à determinação do Pb<sup>2+</sup> foram feitos tendo em consideração materiais certificados de referência (NIST SRM 2709 para solo e NIST SRM 1573<sup>a</sup> para o caso das plantas).

**Análise estatística** - A informação obtida foi processada através de uma análise de variância (ANOVA) usando o pacote estatístico Statgraphic v. 5.1 plus e  $p < 0,05$  (Tukey) para a prova de comparação de médias.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Componentes do metabolismo antioxidante e do nitrogênio

- Na fase vegetativa do feijão em condições de estresse, se encontrou que a biossíntese de compostos fenólicos é favorecida, dada pela elevada atividade da PAL nos diferentes tratamentos (Figura 1).

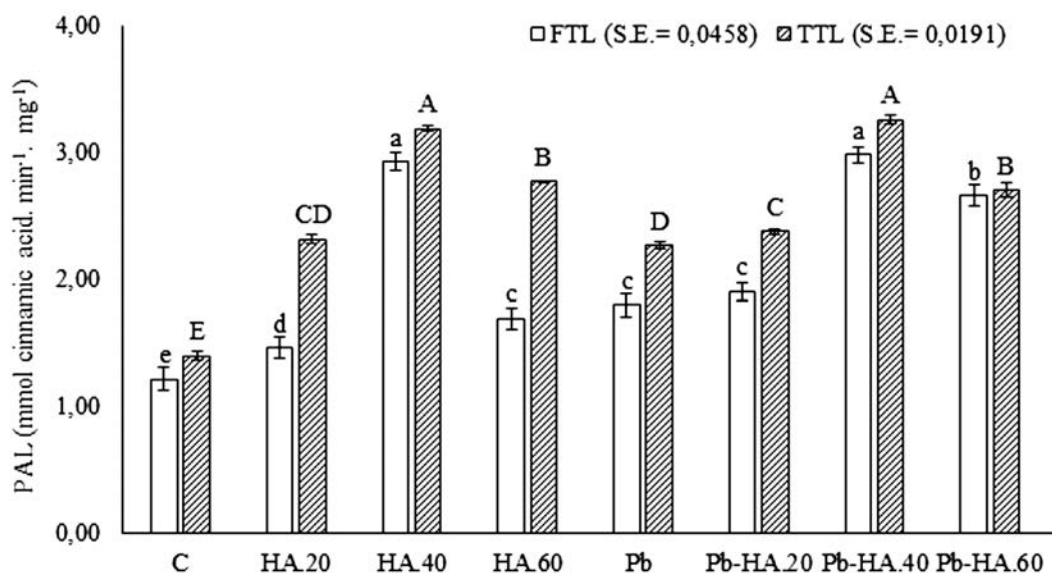


FIGURE 1. Phenylalanine-ammonia-lyase activity in bean plant leaves  
 FIGURA 1. Atividade da Fenilalanina-amônio-liase nas folhas das plantas de feijão.  
 Different letters indicate significant differences. Tukey's mean comparison test was used  $p < 0,05$ .

The activity of the enzyme increased over time in the two evaluations performed, probably as a plant defense mechanism of preparation for next phenological phase, because the synthesis of PAL is associated to the resistance system in the metabolism of the Phenylpropanoids (Zhang & Liu, 2015). The treatment of HA-40 mg L<sup>-1</sup> was the one that showed the highest expression, which would correspond to the greater synthesis of phenolic compounds with capacity to disrupt radical formation chains, demonstrating antioxidant properties (Barros *et al.*, 2016). These experimental evidences would explain the fact that plants with the addition of HA did not present any pathogen attack symptoms, as opposed to control treatment.

Proline concentrations in leaves (Figure 2) are considered as a response to O<sub>2</sub> Reactive Species (ROS) formed by the metal presence. The main role of this amino acid synthesis is osmoregulation, stabilization of subcellular structures and elimination of free radicals; processes that generally occur in response to drought conditions, salinity or pathogen infections (Wu *et al.*, 2017). In the treatment with the presence of the metal only, proline synthesis reached values in the two evaluation moments, up to twice the value of the control treatment, which could indicate a possible transport of the metal to the leaves, inducing this response mechanism. The fact that the HA treatments showed lower or similar proline content values indicates that the concentration of this metabolite in the leaf cells was due to the metal presence and not to the addition of HA.

A atividade da enzima aumentou ao longo do tempo nas duas avaliações realizadas, provavelmente como um mecanismo de defesa de preparação da planta para a próxima fase fenológica, pois a síntese da PAL está interligada ao sistema de resistência do metabolismo dos fenilpropanoides (Zhang y Liu, 2015). O tratamento de AH-40 mg L<sup>-1</sup> foi aquele que mostrou a maior expressão, o que se corresponderia com a maior síntese de compostos fenólicos com capacidade de quebra de cadeias de formação de radicais, demonstrando propriedades antioxidantes (Barros *et al.*, 2016). Estas evidências experimentais explicariam o fato de que as plantas com a adição dos AH não apresentaram nenhum sintoma de ataque de patógenos, ao contrário do tratamento controle.

As concentrações de prolina que apresentaram as folhas (Figura 2) são consideradas como uma resposta as Espécies Reativas do O<sub>2</sub> (EROs) formadas pela presença do metal. O principal rol da síntese deste aminoácido é a osmoregulação, estabilização de estruturas subcelulares e eliminação de radicais livres; processos que geralmente ocorrem como resposta às condições de seca, salinidade ou infecções por patógenos (Wu *et al.*, 2017). No tratamento com a presença somente do metal, a síntese de prolina alcançou valores nos dois momentos de avaliação, de até duas vezes o valor do tratamento controle, o que poderia indicar um possível transporte do metal até as folhas, induzindo este mecanismo de resposta. O fato de que os tratamentos com AH apresentassem valores de conteúdo de prolina menores ou semelhantes ao controle, indica que a concentração deste metabolito nas células das folhas foi devido à presença do metal e não pela adição de AH.

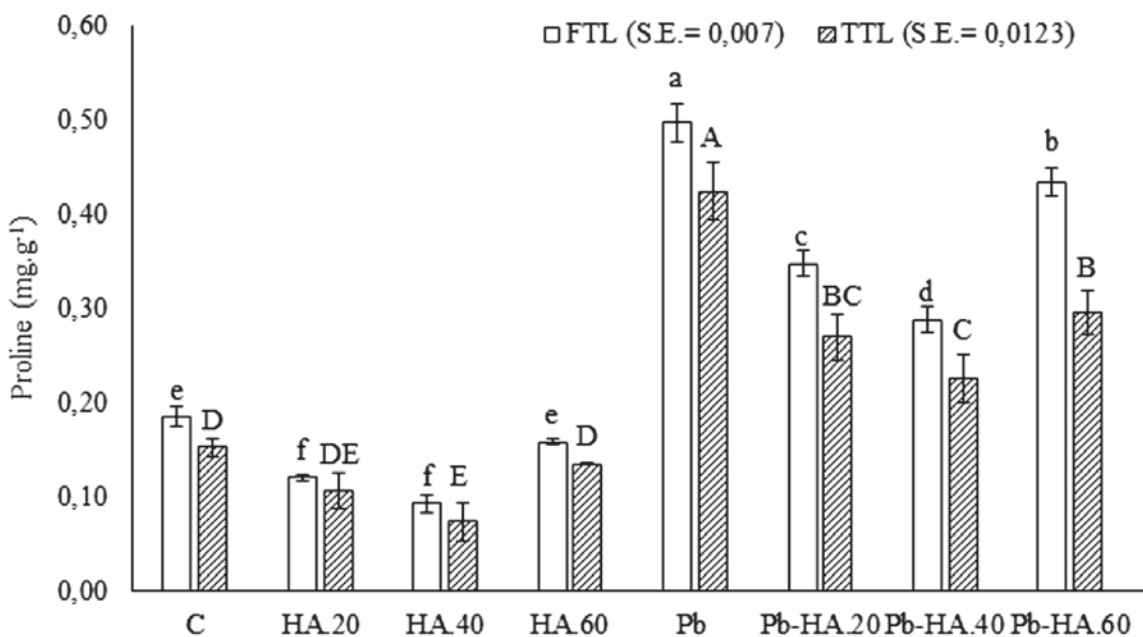


FIGURE 2. Proline content in leaves of bean plants  
 FIGURA 2. Conteúdo de prolina nas folhas das plantas de feijão.  
 Different letters indicate significant differences. Tukey's mean comparison test was used  $p < 0,05$ .

The decrease of proline content in the treatments with Pb<sup>2+</sup>-HA compared to the treatment that only contained the Pb<sup>2+</sup>, is possibly due to a mechanism of chelation of the HA with the metal, turning it into a non-reactive species in the cellular interior. Research related to this amino acid (Howla-

A diminuição do conteúdo de prolina nos tratamentos com Pb<sup>2+</sup>-AH comparado ao tratamento que somente continha o Pb<sup>2+</sup>, possivelmente se deve a um mecanismo de quelatção dos AH com o metal, convertendo-o em uma espécie não reativa no interior celular. Pesquisas relacionadas com este aminoácido (Howladar,

dar, 2014) showed that proline content increased significantly in response to stress induction by NaCl and CdCl<sub>2</sub> in bean plants. Most studies refer to proline synthesized primarily in the root, but in this work, it was found that it can also be synthesized in leaves, and that concentrations may vary depending on the magnitude of stress.

NR activity (Figure 3) showed an increase above control treatment levels in all treatments corresponding to the addition of HAs, including those containing Pb<sup>2+</sup>, which were higher than the one containing only the metal. The foliar addition of HA may be related to an increase of enzyme synthesis in leaves and ammonium production in roots, which results in a greater availability of reduction equivalents and glutamate, respectively, necessary compounds for phytochelatin synthesis, which are peptides that are part of the plant defense mechanism (Li *et al.*, 2016).

2014) mostraram que o conteúdo de prolina aumentou significativamente em resposta à indução de estresse por NaCl e CdCl<sub>2</sub> em plantas de feijão. A maioria dos estudos referem-se à prolina como sintetizada fundamentalmente na raiz, mas no nosso trabalho foi encontrado que também pode ser sintetizada nas folhas, e que as concentrações podem variar dependendo da magnitude do estresse.

A atividade da NR (Figura 3) mostrou um aumento por cima dos níveis do tratamento controle em todos os tratamentos correspondentes a adição dos AH, incluindo aqueles que tinham o Pb<sup>2+</sup>, que foram superiores ao que somente tinha o metal. A adição foliar dos AH poderia estar relacionada com um aumento da síntese da enzima nas folhas e da produção de amônio nas raízes, o que se traduz em uma maior disponibilidade de equivalentes de redução e de glutamato respectivamente, compostos necessários para a síntese de fitoquelatinas, que são peptídeos que formam parte do mecanismo de defesa das plantas (Li *et al.*, 2016).

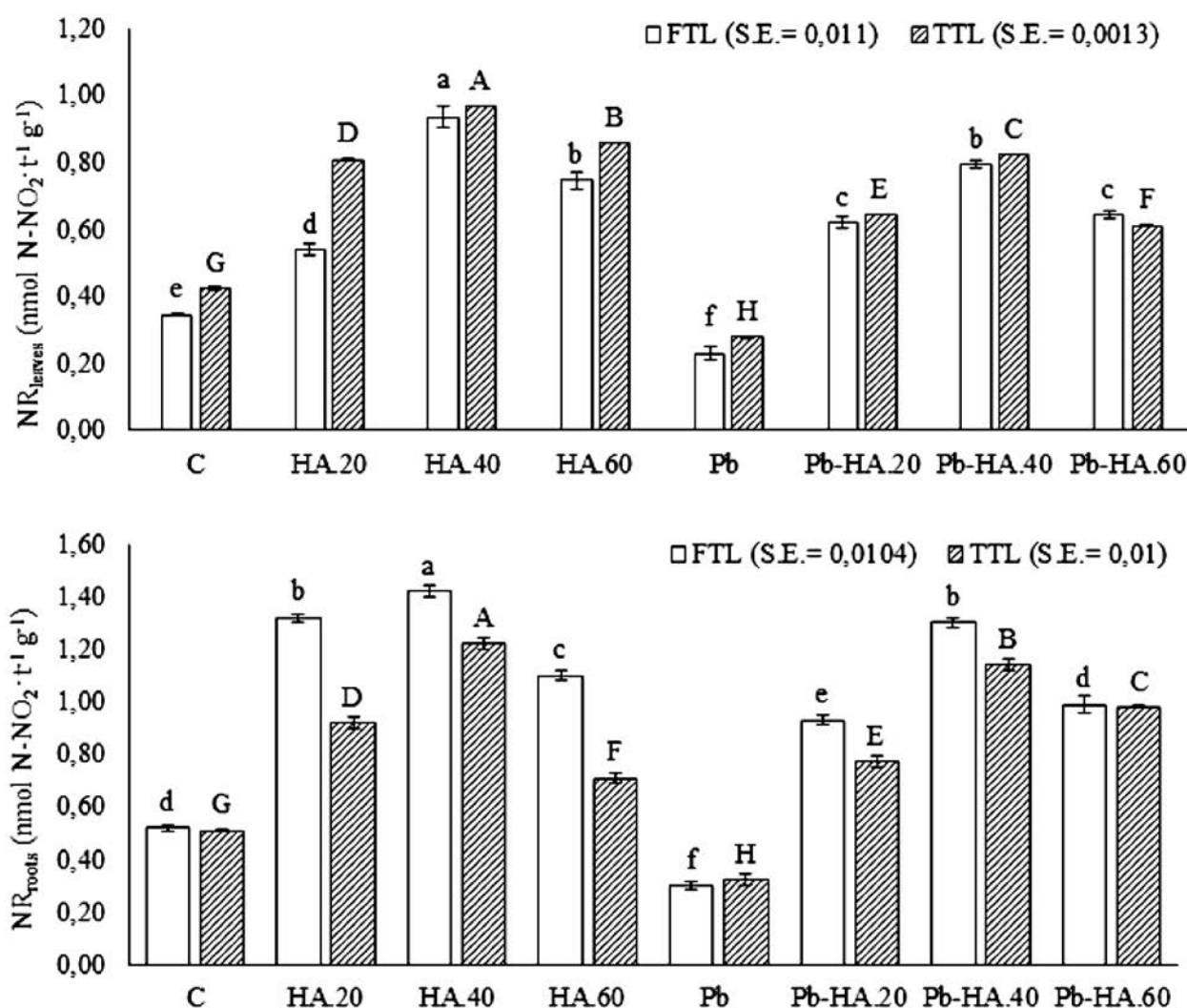


FIGURE 3. NR activity in leaves and roots of bean plants  
 FIGURA 3. Atividade da NR em folhas e raízes das plantas de feijão.  
 Different letters indicate significant differences. Tukey's mean comparison test was used  $p < 0,05$ .

Total nitrate content (Table 1) was higher in leaves than in roots, increasing with the time in the two evaluated organs. These values are interesting in leaves since it is well known that NO<sub>3</sub><sup>-</sup> absorption requires energy, and the transport of

O conteúdo total de nitratos (Tabela 1), foi mais elevado nas folhas que na raiz, aumentando no tempo nos dois órgãos avaliados. Estes valores nas folhas são de grande importância já que é bem conhecido que a absorção de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> requer energia, e o transporte



this anion inside the cell occurs symport via of protons 2 H<sup>+</sup>: NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (Taiz & Zeiger, 2013) which can be generated by ATPase-like enzymes. In this sense, HA isolates of bovine manure vermicompost stimulate nitrate uptake, inducing plasma membrane H<sup>+</sup>-ATPase activity, presumably by an auxin-like effect (Martínez-Balmori *et al.*, 2014).

deste ânion dentro da célula acontece via simporte de prótons 2 H<sup>+</sup>: NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (Taiz y Zeiger, 2013) os quais podem ser gerados por enzimas tipo ATPasas. Neste sentido foi demonstrado que AH isolados de vermicomposto de esterco bovino estimulam a absorção de nitratos, induzindo a atividade da H<sup>+</sup>-ATPasa de membrana plasmática, presumivelmente por um efeito tipo auxina (Martínez-Balmori *et al.*, 2014).

**TABLE 1. Total nitrate content (mg NO<sub>3</sub><sup>+</sup> × kg<sup>-1</sup>).**  
**TABELA 1. Conteúdo de nitratos totais (mg NO<sub>3</sub><sup>+</sup> × kg<sup>-1</sup>)**

Treatments	FTL (Leaves)	TTL (Leaves)	FTL (Roots)	TTL (Roots)
C	0,19 ± 0,0023 c	0,21 ± 0,0150 E	0,02 ± 0,0051 f	0,03 ± 0,0053 E
HA.20	0,21 ± 0,0123 c	0,25 ± 0,0230 DE	0,06 ± 0,0070 d	0,08 ± 0,0070 BC
HA.40	0,42 ± 0,0323 a	0,50 ± 0,0178 A	0,13 ± 0,0021 b	0,09 ± 0,0073 B
HA.60	0,38 ± 0,0245 a	0,35 ± 0,0177 C	0,15 ± 0,0023 a	0,03 ± 0,0045 E
Pb	0,01 ± 0,0036 d	0,06 ± 0,0033 F	0,01 ± 0,0018 g	0,04 ± 0,0025 E
Pb-HA.20	0,23 ± 0,0129 bc	0,26 ± 0,0211 DE	0,08 ± 0,0068 c	0,06 ± 0,0043 D
Pb-HA.40	0,38 ± 0,0156 a	0,42 ± 0,0278 B	0,12 ± 0,0023 b	0,15 ± 0,0075 A
Pb-HA.60	0,28 ± 0,0112 b	0,29 ± 0,0120 D	0,04 ± 0,0015 e	0,07 ± 0,0023 CD
S.E.	0,0097	0,011	0,0024	0,0031

In each physiological phase evaluated, a nodule count was carried out in the roots, which increased with the time. The number of nodules was higher in the treatment corresponding to 40 mg L<sup>-1</sup> of HA, both with the addition of HA only and with the interaction Pb<sup>2+</sup>-HA, which corresponds also to the total nitrate content and enzyme activity NR at the root (Figure 3). Root studies of plants cultivated in soil with the presence of Pb<sup>2+</sup> showed a nodule formation with reduced mycorrhizal colonization (Schneider *et al.*, 2016). Results in this work showed that bean is able to develop nodulation in presence of 100 mg kg<sup>-1</sup> of Pb<sup>2+</sup>, however, future studies of isolation and identification of root microorganisms under these conditions will have to be performed.

**Pb content** – Soil artificially contaminated with Pb<sup>2+</sup> had a pseudo-metal value of approximately 129,2 mg kg<sup>-1</sup> before sowing (Table 2) and 12,023 mg kg<sup>-1</sup> after completion of the study. This means that bean crop was able to extract approximately 117 mg kg<sup>-1</sup> of Pb<sup>2+</sup> from the soil.

Em cada fase fisiológica avaliada foi feita uma contagem dos nódulos formados nas raízes, o qual aumentou no tempo. O número de nódulos foi maior no tratamento correspondente a 40 mg L<sup>-1</sup> de AH, tanto na adição somente do AH quando na interação Pb<sup>2+</sup>-AH, o que se corresponde também com o conteúdo de nitratos totais e atividade da enzima NR na raiz (Figura 3). Estudos a partir de raízes de plantas cultivadas em solo com presença de Pb<sup>2+</sup> mostraram formação de nódulos com redução da colonização micorrízica (Schneider *et al.*, 2016). Os resultados demonstram que o feijão é capaz de desenvolver a nodulação na presença de 100 mg kg<sup>-1</sup> de Pb<sup>2+</sup>, porém, estudos futuros de isolamento e identificação dos microrganismos das raízes nestas condições terão que ser feitos.

**Conteúdo de Pb** - O solo contaminado artificialmente com Pb<sup>2+</sup> apresentou teor pseudototal do metal de aproximadamente 129,2 mg kg<sup>-1</sup> antes da plantação (Tabela 2) e de 12,023 mg kg<sup>-1</sup> depois de culminado o estudo. Isto significa que o cultivar de feijão foi capaz de extrair do solo aproximadamente 117 mg kg<sup>-1</sup> de Pb<sup>2+</sup>.

**TABLE 2. Values (mg kg<sup>-1</sup>) of pseudototal and bioavailable Pb<sup>2+</sup> in the soil**  
**TABELA 2. Teores (mg kg<sup>-1</sup>) pseudototais e biodisponíveis de Pb<sup>2+</sup> no solo**

	Soil before sowing		Rhizosphere soil / FTL		Rhizosphere soil / TTL		Soil after completion of the crop cycle	
	B	PST	B	PST	B	PST	B	PST
C	0,268	32,168	4,285	28,989	4,185	26,374	0,003	0,021
C-HA.20			4,625	27,685	8,997	21,515		
C-HA.40			12,895*	17,935*	11,234*	16,495*		
C-HA.60			7,029	24,393	7,788	22,981		
Pb	17,536	129,164	17,048	110,765	21,966	106,365	1,279	12,023
Pb-HA.20			22,597	105,438	26,610	99,637		
Pb-HA.40			28,247*	98,885*	36,929*	91,195*		
Pb-HA.60			23,107	104,725	25,157	101,515		

\* It indicates significant differences in P < 0,05 for HA treatments when compared to control treatment and Pb<sup>2+</sup> treatments. B: Bioavailable, PST: Pseudototal

Under natural conditions, soil Pb<sup>2+</sup> content values above 100 mg kg<sup>-1</sup> have been reported only for some soils in Japan, Denmark and a few other countries due to the impact of conta-

Em condições naturais valores do conteúdo de Pb<sup>2+</sup> no solo acima de 100 mg kg<sup>-1</sup> têm sido reportado somente para alguns solos no Japão, Dinamarca e outros poucos países por impacto



mination (Nakata *et al.*, 2017). The content of Pb<sup>2+</sup> in different parts of bean plant can be observed in the Table 3. Metal values detected in root were higher than those of the aerial part, being the treatment with presence of HA-40 mg L<sup>-1</sup>, the one where the greatest extraction of the metal was shown. Studies by Venkatachalam *et al.* (2017), state that Pb<sup>2+</sup> tolerant plant species accumulate higher concentrations in the roots. Under the conditions of this experiment, bean plants did not prevent the metal absorption, but limited their translocation to the aerial part, which could be a strategy to obtain the tolerance to the metal.

da contaminação (Nakata *et al.*, 2017). O conteúdo de Pb<sup>2+</sup> nas diferentes partes das plantas de feijão é demonstrado na Tabela 3. Os teores do metal detectados na raiz foram maiores que os da parte aérea sendo os tratamentos com a presença do AH-40 mg L<sup>-1</sup> aquele onde se mostrou a maior extração do metal. Estudos de Venkatachalam *et al.* (2017), afirmam que as espécies de plantas tolerantes ao Pb<sup>2+</sup> acumulam maiores concentrações nas raízes. Em nossas condições as plantas de feijão não evitaram a absorção do metal, mas limitaram sua translocação para a parte aérea, o que poderia ser uma estratégia para conseguir a tolerância ao metal.

**TABLE 3. Total values of Pb<sup>2+</sup> (mg kg<sup>-1</sup>) in the different organs of plants**  
**TABELA 3. Teores (mg kg<sup>-1</sup>) totais do Pb<sup>2+</sup> nos diferentes órgãos das plantas**

	Leaves		Roots		Seeds
	FTL	TTL	FTL	TTL	
C	0,491	1,894	1,934	2,483	nd
C-HA.20	1,875	3,381	2,454	4,794	nd
C-HA.40	4,967*	5,002	8,369*	10,032*	nd
C-HA.60	3,174	4,914	3,637	4,300	nd
Pb	6,498	8,016	11,626	12,372	0,01
Pb-HA.20	5,128	8,154	15,546	17,358	nd
Pb-HA.40	11,945*	15,496*	16,401	19,253*	nd
Pb-HA.60	9,229	10,583	14,581	15,675	nd

\* It indicates significant differences in P < 0,05 for HA treatments when compared to the control treatment and with treatments of Pb<sup>2+</sup>, nd: not detected

There was not metal detected in seeds, except for a minimum amount found in the treatment that only contained Pb<sup>2+</sup>. These results are of great importance considering that beans are widely consumed in Latin American countries, especially by low income social classes, constituting the main source of proteins, minerals, vitamins and fibres, due to their lower cost in relation to those of animal origin.

Na semente não foi detectado o metal, a exceção de uma mínima quantidade encontrada no tratamento que somente continha o Pb<sup>2+</sup>, resultados estes de grande importância tendo em conta que o feijão é consumido amplamente nos países de Latinoamérica, especialmente nas classes sociais de menor poder aquisitivo, constituindo a principal fonte de proteínas, minerais, vitaminas e fibras, devido a seu menor custo em relação à de origem animal.

## CONCLUSIONS

- All treatments corresponding to the interaction Pb<sup>2+</sup>-HA showed a variation in the enzymatic activity depending on the concentration under study and the physiological phase of the culture. For the case of PAL and N metabolism, the trend was increasing over time, as a positive response of HA in the formation of phenolic compounds that can give a biological resistance and absorption of nitrates, fundamental components of amino acids, proteins and synthesis of the oxidative stress enzymes themselves.
- The concentration of 40 mg L<sup>-1</sup> of HA was the one that showed the best response to stress, being able to be used as organic biostimulant and possible activator of adaptation mechanisms, favoring also the greater absorption of the soil metal.

## CONCLUSÕES

- Todos os tratamentos correspondentes à interação Pb<sup>2+</sup>-AH mostraram uma variação na atividade enzimática dependendo da concentração em estudo e da fase fisiológica da cultura. Para o caso da PAL e o metabolismo do N, a tendência foi o aumento no tempo, como uma resposta positiva dos AH na formação de compostos fenólicos que possam dar uma resistência biológica e, a absorção de nitratos, componentes fundamentais de aminoácidos, proteínas e síntese das próprias enzimas de estresse oxidativo.
- A concentração de 40 mg L<sup>-1</sup> de AH foi a que mostrou a melhor resposta ao estresse, podendo-se utilizar como bioestimulante orgânico e possível ativador de mecanismos de adaptação, propiciando também a maior absorção do metal no solo.

## REFERENCES/REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, E.L. de; MARCOS, F.C.C.; SCHIAVINATO, M.A.; LAGÔA, A.M.M.A.; ABREU, M.F. de: "Crescimento de feijão de porco na presença de chumbo", *Bragantia*, 67(3): 569-576, 2008, ISSN: 0006-8705, DOI: 10.1590/S0006-87052008000300003.
- BARROS, J.; SERRANI-YARCE, J.C.; CHEN, F.; BAXTER, D.; VENABLES, B.J.; DIXON, R.A.: "Role of bifunctional ammonia-lyase in grass cell wall biosynthesis", *Nature Plants*, 2(6): 16050, 2016, ISSN: 2055-0278, DOI: 10.1038/nplants.2016.50.
- BATES, L.S.; WALDREN, R.P.; TEARE, I.D.: "Rapid determination of free proline for water-stress studies", *Plant and Soil*, 39(1): 205-207, 1973, ISSN: 0032-079X, 1573-5036, DOI: 10.1007/BF00018060.

- CORPAS, F.J.; BARROSO, J.B.: "Lead-induced stress, which triggers the production of nitric oxide (NO) and superoxide anion (O<sub>2</sub><sup>-</sup>) in Arabidopsis peroxisomes, affects catalase activity.", *Nitric Oxide : biology and chemistry*, 2016, ISSN: 1089-8603, DOI: 10.1016/j.niox.2016.12.010, Disponible en: <http://europepmc.org/abstract/med/28039072>, [Consulta: 23 de junio de 2017].
- GARCÍA, A.C.; DE SOUZA, L.G.A.; PEREIRA, M.G.; CASTRO, R.N.; GARCÍA-MINA, J.M.; ZONTA, E.; LISBOA, F.J.G.; BERBARA, R.L.L.: "Structure-Property-Function Relationship in Humic Substances to Explain the Biological Activity in Plants", *Scientific Reports*, 6: 20798, 2016, ISSN: 2045-2322, DOI: 10.1038/srep20798.
- HARPER, J.E.: "Evolution of Nitrogen Oxide(s) during *In Vivo* Nitrate Reductase Assay of Soybean Leaves", *Plant Physiology*, 68(6): 1488-1493, 1981, ISSN: 0032-0889, 1532-2548, DOI: 10.1104/pp.68.6.1488.
- HERNÁNDEZ, J.A.; PÉREZ, J.M.; BOSCH, D.; RIVERO, L.; CAMACHO, E.; RUÍZ, J.; SALGADO, E.J.; MARSÁN, R.; OBREGÓN, A.; TORRES, J.M.; GONZÁLES, J.E.; ORELLANA, R.; PANEQUE, J.; RUIZ, J.M.; MESA, A.; FUENTES, E.; DURÁN, J.L.; PENA, J.; CID, G.; PONCE DE LEÓN, D.; HERNÁNDEZ, M.; FRÓMETA, E.; FERNÁNDEZ, L.; GARCÉS, N.; MORALES, M.; SUÁREZ, E.; MARTÍNEZ, E.: *Nueva versión de clasificación genética de los suelos de Cuba*, Ed. AGROINFOR, La Habana, Cuba, 64 p., 1999, ISBN: 959-246-022-1.
- HOWLADAR, S.M.: "A novel *Moringa oleifera* leaf extract can mitigate the stress effects of salinity and cadmium in bean (*Phaseolus vulgaris* L.) plants", *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 100: 69-75, 2014, ISSN: 0147-6513, DOI: 10.1016/j.ecoenv.2013.11.022.
- IUSS WORKING GROUP WRB: *World reference base for soil resources 2006. A framework for international classification, correlation and communication*, Micheli, E. (ed.), ser. World Soil Resources Reports, no. ser. 103, Ed. Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2.ª ed., Rome, Italy, 128 p., Primera Actualización, 2007, ISBN: 978-92-5-105511-3.
- LI, Y.; ZHOU, C.; HUANG, M.; LUO, J.; HOU, X.; WU, P.; MA, X.: "Lead tolerance mechanism in *Conyza canadensis*: subcellular distribution, ultrastructure, antioxidative defense system, and phytochelatin", *Journal of Plant Research*, 129(2): 251-262, 2016, ISSN: 0918-9440, 1618-0860, DOI: 10.1007/s10265-015-0776-x.
- MARTINEZ-BALMORI, D.; SPACCINI, R.; AGUIAR, N.O.; NOVOTNY, E.H.; OLIVARES, F.L.; CANELLAS, L.P.: "Molecular Characteristics of Humic Acids Isolated from Vermicomposts and Their Relationship to Bioactivity", *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62(47): 11412-11419, 2014, ISSN: 0021-8561, DOI: 10.1021/jf504629c.
- NAKATA, H.; NAKAYAMA, S.M.M.; OROSZLANY, B.; IKENAKA, Y.; MIZUKAWA, H.; TANAKA, K.; HARUNARI, T.; TANIKAWA, T.; DARWISH, W.S.; YOHANNES, Y.B.; SAENGTIENCHAI, A.; ISHIZUKA, M.: "Monitoring Lead (Pb) Pollution and Identifying Pb Pollution Sources in Japan Using Stable Pb Isotope Analysis with Kidneys of Wild Rats", *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14(1): 56, 2017, ISSN: 1661-7827, DOI: 10.3390/ijerph14010056.
- NIEUWENHUIZE, J.; POLEY-VOS, C.H.; AKKER, A.H. van den; DELFT, W. van: "Comparison of microwave and conventional extraction techniques for the determination of metals in soil, sediment and sludge samples by atomic spectrometry", *Analyst*, 116(4): 347-351, 1991, ISSN: 1364-5528, DOI: 10.1039/AN9911600347.
- SCHNEIDER, J.; BUNDSCHUH, J.; DO NASCIMENTO, C.W.A.: "Arbuscular mycorrhizal fungi-assisted phytoremediation of a lead-contaminated site", *Science of The Total Environment*, 572: 86-97, 2016, ISSN: 0048-9697, DOI: 10.1016/j.scitotenv.2016.07.185.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E.: *Fisiologia Vegetal, [en línea]*, Ed. Artmed, 5.ª ed., Porto Alegre, 918 p., 2013, ISBN: 978-85-363-2795-2, Disponible en: <https://www.saraiva.com.br/fisiologia-vegetal-5-ed-2013-4269764.html>, [Consulta: 23 de junio de 2017].
- VENKATACHALAM, P.; JAYALAKSHMI, N.; GEETHA, N.; SAHI, S.V.; SHARMA, N.C.; RENE, E.R.; SARKAR, S.K.; FAVAS, P.J.C.: "Accumulation efficiency, genotoxicity and antioxidant defense mechanisms in medicinal plant *Acalypha indica* L. under lead stress", *Chemosphere*, 171: 544-553, 2017, ISSN: 0045-6535, DOI: 10.1016/j.chemosphere.2016.12.092.
- WU, H.-H.; ZOU, Y.-N.; RAHMAN, M.M.; NI, Q.-D.; WU, Q.-S.: "Mycorrhizas alter sucrose and proline metabolism in trifoliolate orange exposed to drought stress", *Scientific Reports*, 7: 42389, 2017, ISSN: 2045-2322, DOI: 10.1038/srep42389.
- ZHANG, S.; ZHANG, F.; HUA, B.: "Enhancement of phenylalanine ammonia lyase, polyphenoloxidase, and peroxidase in cucumber seedlings by *Bernisia tabaci* (Gennadius)", *Agriculture Sciences in China*, 7(1): 82-87, 2000, ISSN: 1671-2927.
- ZHANG, X.; LIU, C.-J.: "Multifaceted Regulations of Gateway Enzyme Phenylalanine Ammonia-Lyase in the Biosynthesis of Phenylpropanoids", *Molecular Plant*, ser. Plant Metabolism and Synthetic Biology, 8(1): 17-27, 2015, ISSN: 1674-2052, DOI: 10.1016/j.molp.2014.11.001.

Received: 06/01/2017.

Approved: 15/06/2017.

*Liane Portuondo Fariás*, Prof. e Inv., Universidad Agraria de La Habana, Facultad de Agronomía, Departamento de Química, Autopista Nacional y carretera Tapaste km 23 ½ CP: 32 700. Apartado Postal: 1819, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba. E-mail: [liane@unah.edu.cu](mailto:liane@unah.edu.cu)

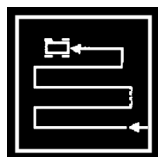
*Dariellys Martínez Balmori*, E-mail: [darielly@unah.edu.cu](mailto:darielly@unah.edu.cu)

*Fernando Guridi Izquierdo*, E-mail: [fguridi@unah.edu.cu](mailto:fguridi@unah.edu.cu)

*Andrés Calderín García*, E-mail: [cg.andres@gmail.com](mailto:cg.andres@gmail.com)

*João Paulo Machado Torres*, E-mail: [liane@unah.edu.cu](mailto:liane@unah.edu.cu)

Note: the mention of commercial equipment marks, instruments or specific materials obeys identification purposes, there is not any promotional commitment related to them, neither for the authors nor for the editor.



## Technical and Economic Indicators of Operation of Milk Refrigeration Centers in Guáimaro, Camagüey

### *Indicadores técnicos–económicos de explotación de los centros de refrigeración de leche en Guáimaro, Camagüey*

M.Sc. Dusquier Elizalde-Rodríguez<sup>I</sup>, Dr.C. Neeldes Matos-Ramírez<sup>I</sup>, Dr.C. Pedro A. Valdés-Hernández<sup>II</sup>, M.Sc. Dalmis Delgado-González<sup>III</sup>, Ing. Leider Labrada-Acosta<sup>IV</sup>, Ing. Randy Milanés-Pérez<sup>IV</sup>

<sup>I</sup> Universidad de Camagüey, Facultad de Electromecánica, Departamento de Ingeniería Mecánica, Camagüey, Cuba.

<sup>II</sup> Universidad Agraria de La Habana, Facultad de Ciencias Técnicas, Departamento de Ingeniería, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba.

<sup>III</sup> BANDEC, Sibanicú, Camagüey, Cuba.

**ABSTRACT.** As part of the studies carried out by the Department of Mechanical Engineering of the University of Camagüey, MINAG and MINAL in Camagüey province, on the optimization of collection and distribution process of cow milk, the research is performed with the objective of determining the technical - economic indicators of operation of the refrigeration centers for the reception of cow milk in Guáimaro municipality. Operation indicators for two seasons of the year (rainy and less rainy) are determined, taking into account the time balance, using the photo-timing method according to NC 34-37 and operation costs according to NC 34-38. The results obtained of productivity per hour of main time in the rainy and less rainy seasons are 207.8 and 85.06 L/h, respectively, which was influenced by the fall of the production volume in the less rainy season, affecting the productivity per hour of operation time with 175.15 and 71.84 L/h in the rainy and less rainy seasons, respectively. Specific consumption of electrical energy is 1.62 and 3.42 kW/L for rainy and less rainy seasons, respectively, being acceptable for this type of technological process. Direct operation costs amounted to 18.11 peso/h in the rainy season and 9.56 peso/h in the less rainy season, with the highest percentage being salary costs of 58.92% and electricity consumption of 41.10% in the rainy season, behaving similarly in the less rainy season. The operation costs per liter of cooled milk are 0.10 and 0.13 peso/L for the rainy season and less rainy, respectively, the difference of 0.03 peso/L is due to the decrease in milk production in the less rainy season.

**Keywords:** operating times, productivity, coefficients, costs

**RESUMEN.** Como parte de los estudios realizados por el Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Camagüey, el MINAG y MINAL en la provincia de Camagüey, sobre la optimización del proceso de acopio y distribución de leche vacuna, se desarrolla la investigación con el objetivo de determinar los indicadores técnicos – económicos de explotación de los centros de enfriamientos para la recepción de la leche vacuna en el municipio Guáimaro. Se determinan los indicadores de explotación para dos épocas del año (lluviosa y poca lluviosa), contemplando el balance de tiempo, empleando el método de foto cronometraje según NC 34-37 y los costos de explotación según NC 34-38. Los resultados obtenidos de productividad por hora de tiempo principal en la época lluviosa y poca lluviosa es de 207,8 y 85,06 L/h respectivamente, lo que estuvo influenciado por la caída del volumen de producción en la época poca lluviosa, afectando la productividad por hora de tiempo de explotación con 175,15 y 71,84 L/h en la época lluviosa y poca lluviosa respectivamente. El consumo específico de energía eléctrica es de 1,62 y 3,42 kW/L para las épocas lluviosa y poco lluviosa respectivamente, siendo aceptable para este tipo de proceso tecnológico. Los costos directos de explotación ascienden a 18,11 peso/h en la época lluviosa y 9,56 peso/h en la poca lluviosa, representando mayor porcentaje los costos por salario con un 58,92% y consumo de energía eléctrica un 41,10% en la época lluviosa, comportándose de forma similar en la poca lluviosa. Los costos de explotación por litro de leche enfriada ascienden a 0,10 y 0,13 peso/L para la época lluviosa y poca lluviosa respectivamente, la diferencia de 0,03 peso/L se debe a la disminución de la producción de leche en la época poca lluviosa.

**Palabras clave:** tiempos de explotación, productividad, coeficientes, costos.

## INTRODUCTION

In Cuba, dairy farming has undergone an intense transformation in the last 30 years; these changes have had as their fundamental basis the introduction and exploitation; first of Holstein cattle, which has maintained a good behavior and capacity of adaptation and from it new breeding have been fomented. The annual yield of milk per cow in the average milking of the country has decreased slightly to reach in 2015, 1 232 kg of milk in the year (equivalent to 3.37 L/cow daily), with an estimated of 4 045 900 head of cattle (ONEI, 2016).

Cuba has 16 provinces that produce cow milk, among which Camagüey stands out, which continues to be the main Cuban cattle province. The national production in 2014 was 497.1 million liters of cow milk, the five major producing provinces contributing 54,69% of the national production, delivering 252 million liters, Camagüey being the one with the highest production of livestock in Cuba, delivering 90.2 million liters for 18.15% of the total (ONEI, 2015).

Ponce (2009) refers that dairy is a complex system and should be focused in an integral way, where all elements of the agro-industrial chain complement each other: to reduce the gap between the quality of milk produced and the one collected by the industry; to improve quality in all aspects and in collection systems; to increase rational use of refrigeration and/or use of lacto-peroxidase system combined with thermal processing and small-scale packaging technologies.

It is important to apply the new technologies to obtain a higher quality and freshness of the milk to be delivered, such as the introduction of Refrigerated Milk Collecting Centers in the collection process, one of the main links of the dairy chain.

That eliminates the collection of hot milk, decreases the amount of acidic milk that reaches the industry and increases the efficiency of the process; this application allows the milk to be cooled quickly after its production in order to maintain its properties.

The operation of these Refrigerated Milk Collecting Centers is governed by the Regulations of Refrigerated Milk Centers in Camagüey; defined by the Territorial Delegation of Agriculture and Dairy Products to carry out the quality tests for each milk supplier, which are listed below:

- Milk sampling for determination of test methods, according to NC 78-25, 1986;
- Acidity test by means of the test of alcohol to 72%, according to CN 78-11-09, 1983;
- Test of mastitis using the reagent cenmast or california, according to NC 118, 2001;
- Density test (watery) by means of the 250 ml test tube and a thermo lacto-densimeter according to NC 119, 2001.

In national and international context, it can be seen that the subject matter studied has not been approached according to the literature consulted. However, some authors are cited who have done research in Cuba related to the evaluation of the technical and economic indicators of ex-

## INTRODUCCIÓN

En Cuba la ganadería lechera ha logrado en los últimos 30 años una intensa transformación, estos cambios han tenido como base fundamental la introducción y explotación; primero del ganado Holstein, el cual ha mantenido un buen comportamiento y capacidad de adaptación y a partir del mismo se han fomentado nuevos cruces. El rendimiento anual de leche por vaca en ordeño medio del país ha decrecido ligeramente hasta alcanzar en el 2015 los 1 232 kg de leche en el año (equivalente a 3,37 L/vaca diario), con una cantidad de vacas estimada de 1 223 900 cabezas (ONEI, 2016).

Cuba cuenta con 16 provincias productoras de leche vacuna y entre ellas se destaca Camagüey que sigue siendo la principal provincia ganadera cubana. La producción nacional en el año 2014 fue de 497,1 millones de litros de leche vacuna, las cinco provincias mayores productoras aportan el 54,69 % de la producción nacional, entregando 252 millones de litros, siendo Camagüey la de mayor producción de la ganadería en Cuba, entregando 90,2 millones de litros para un 18,15 % del total (ONEI, 2015).

Ponce (2009), plantea que la lechería es un sistema complejo y debe enfocarse de forma integral, donde todos los elementos de la cadena agroindustrial se complementen entre sí; disminuir la brecha entre la calidad de la leche producida y acopiada por la industria; mejorar la calidad en todos sus aspectos y de los sistemas de recogida; incrementar el uso racional de la refrigeración y/o uso del sistema lactoperoxidasa combinado con tecnologías de procesamiento térmico y envasado a pequeña escala.

Es importante la aplicación de las nuevas tecnologías para obtener mayor calidad y frescura de la leche a entregar, como la introducción de los Centros de Acopio Colectivos de Leche Refrigerada en el proceso de acopio, uno de los eslabones principales de la cadena lechera, por lo que se elimina el acopio de leche caliente, disminuye la cantidad de leche ácida que llega a la industria y aumenta la eficiencia del proceso; esta aplicación permite que la leche sea enfriada rápidamente luego de su obtención y mantenga sus propiedades.

El funcionamiento de estos Centros de Acopio Colectivos de Leche Refrigerada se rige por el Reglamento de los Centros de Leche Fría en Camagüey; definido por la Delegación Territorial de la Agricultura y Empresa de Productos Lácteos para la realización de las pruebas de calidad por cada proveedor de leche, que se enuncian a continuación:

- Toma de muestra de leche para la determinación de los métodos de ensayo, según NC 78-25:86;
- Prueba de la acidez mediante la prueba de alcohol al 72%; según NC 78-11-09:83;
- Prueba de la mastitis mediante el reactivo cenmast o california, según NC 118:01;
- Prueba de la densidad (aguado) mediante la probeta de 250 ml y un termo lactodensímetro, según NC 119:01.

En el ámbito nacional e internacional se aprecia que la temática objeto de estudio no ha sido abordada según la literatura consultada, no obstante se citan algunos autores que han realizado investigaciones en Cuba, relacionadas con la evaluación de los indicadores técnicos – económicos de explotación en los procesos y máquinas agrícolas, pero no están dirigidas a los equipos utilizados en este



exploitation in the processes and agricultural machinery, but they are not directed to the equipment used in this sector, according to Valdés et al., (2015) and Llanes, (2009) that determined the specific expenditure of electric energy consumed per unit of work performed and the hourly electric energy consumed by operating time for the forage cutter MF IIMA model EM-01 modified at Mayabeque ICA and in the rice drying and milling industry at “Fernando Echenique” Rice Agro-Industrial Complex in the Cuban province of Granma, respectively.

On the other hand, De las Cuevas et al. (2013), determined the costs of operating a direct sowing machine in peso/h, adding costs for wages, amortization, maintenance and fuel, as well as costs per unit area worked (peso/ha). There are also works by Miranda (2002), Miranda et al. (2013) and Morejon et al. (2012) who evaluate the performance indicators of the New Holland L-520 rice harvester, CLAAS DOMINATOR and of the means of transport used in the rice harvest-transport process in the Agro Industrial Complex “Los Palacios”, respectively. Likewise, Matos et al. (2010), De las Cuevas et al. (2014) and Matos and García (2012) carry out similar studies, but for the sugar cane harvesters Case-7000, CAMECO and for the trucks in the transport of sugar cane, respectively. Similarly, Vázquez et al. (2012) determine the productivity and fuel consumption in tillage sets for a fluvisol soil in cassava crop.

In the aforementioned investigations, there are no studies aimed at evaluating the exploitation rates of the Refrigerated Milk Collecting Centers. Therefore, the objective of this work is to determine the operation indicators of the Refrigerated Milk Collecting Centers in the Agricultural Company of Guáimaro Municipality; as part of the research project titled: *Rational Organization of Cow Milk Collection and Distribution Processes by Means of Automotive Transportation in Camagüey Province*.

## METHODS

Experimental investigations were carried out in the process of receiving and cooling cow milk at the Refrigerated Milk Collecting Centers of cooperative sector entities belonging to “Geonel Rodríguez Cordoví” (Taíno) cheese factory of the Dairy Products Company, located in Guáimaro Municipality, Camagüey Province, between the years 2013 and 2015 and during rainy and not rainy seasons. The technical - economic operating diagnosis was made to the 19 cooling centers with an installed capacity of 31 200 L, with varying capacity thermos (500, 1040 and 1050 L, respectively) and 957 suppliers. Figure 1 shows one of the evaluated centers: Los Acostas Cooling Center.

The determination of technical and economic indicators for the operation of Refrigerated Milk Collecting Centers in the Agricultural Company of Guáimaro Municipality in Camagüey Province was carried out with the application of current regulations NC 34-37 and NC 34-38, 2003.

sector; según los trabajos realizados por Valdés et al. (2015), y Llanes (2009), que determinaron el gasto específico de energía eléctrica consumida por unidad de trabajo realizado y el gasto horario de energía eléctrica consumida por tiempo de explotación para la máquina picadora de forraje MF IIMA modelo EM-01 modificada en el ICA Mayabeque y en la industria del secado y molienda del arroz en el Complejo Agroindustrial arrocero “Fernando Echenique” en la provincia cubana de Granma respectivamente.

Por otro lado según de las Cuevas *et al.* (2013), determinó los costos de explotación de una máquina de siembra directa en peso/h, adicionando los costos por concepto de salarios, amortización, reparación – mantenimientos y en combustible, así como los costos por unidad de área trabajada (peso/ha). También existen los trabajos realizados por Miranda *et al.* (2002), Miranda *et al.* (2013), y Morejon *et al.* (2012), que evalúan los indicadores de explotación de las cosechadoras de arroz New Holland L-520, CLAAS DOMINATOR y de los medios de transporte utilizados en el proceso cosecha-transporte del arroz en el Complejo Agroindustrial “Los Palacios” respectivamente. Asimismo Matos *et al.* (2010), de las Cuevas *et al.* (2014), y Matos y García (2012), realizan estudios similares pero para las cosechadoras de caña Case - 7000, CAMECO y para los camiones en la transportación de la caña respectivamente., así como Vázquez *et al.* (2012), determina la productividad y el consumo de combustible en conjuntos de labranza para un suelo fluvisol en el cultivo de la yuca.

En las investigaciones anteriormente mencionadas no se reflejan trabajos dirigidos a la evaluación de los índices de explotación de los Centros de Acopio Colectivos de Leche Refrigerada, por lo que se presenta como objetivo determinar los indicadores técnico – económicos de explotación de los Centros de Acopio Colectivos de Leche Refrigerada en la Empresa Agropecuaria del municipio Guáimaro; como parte del proyecto de investigación titulado: *Organización racional del proceso de acopio y distribución de leche vacuna por medios de transporte automotor en la provincia Camagüey*.

## MÉTODOS

Las investigaciones experimentales se realizaron en los Centros de Acopio Colectivos de Leche Refrigerada de las diferentes entidades del sector cooperativo en el proceso de recepción y enfriamiento de la leche vacuna, pertenecientes a La fábrica de Quesos “Geonel Rodríguez Cordoví” (Taíno) de la Empresa de Productos Lácteos, ubicados en el municipio Guáimaro, Provincia Camagüey, en el período 2013-2015 durante las dos épocas del año (lluviosa y poco lluviosa). El diagnóstico técnico – económico de explotación fue realizado a los 19 centros de enfriamientos con una capacidad instalada de 31 200 L, con termos de variada capacidad (500, 1 040 y 1 050 L respectivamente) y 957 proveedores. En la Figura 1 se presenta uno de los centros evaluados, el centro de enfriamiento Los Acostas.

La determinación de los indicadores técnicos – económicos de explotación de los centros de acopio colectivos de leche refrigerada en la Empresa Agropecuaria del municipio Guáimaro, de la provincia Camagüey, se realizó con la aplicación de las normativas vigentes NC 34-37:03 y NC 34-38:03.

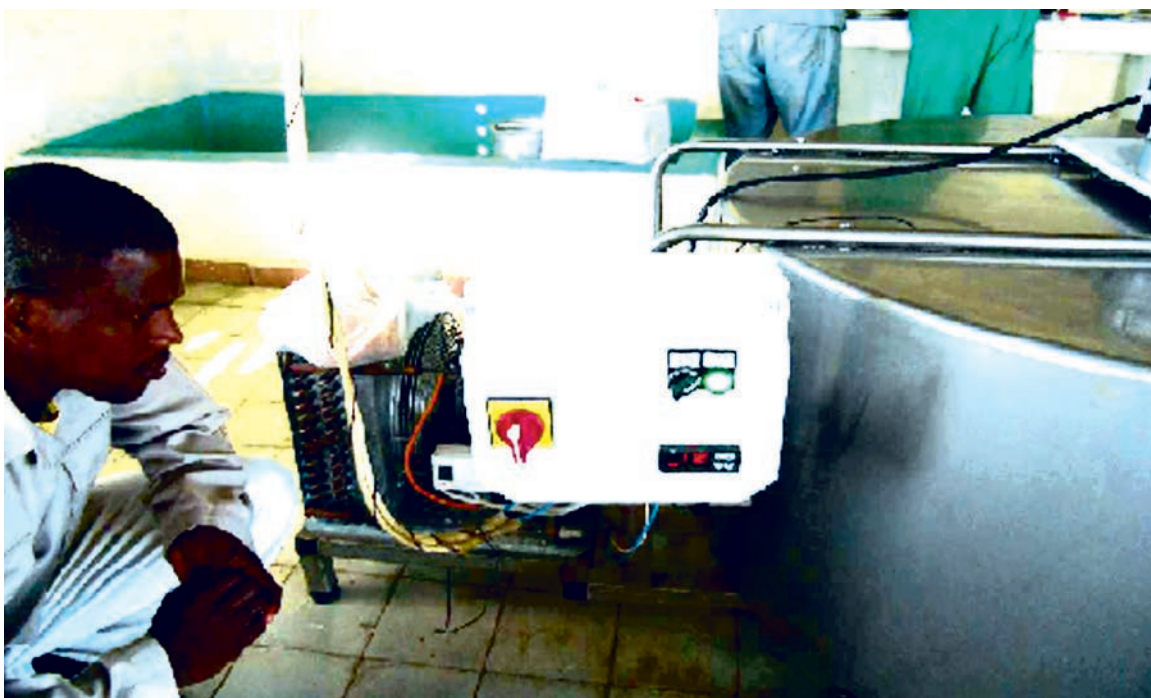


FIGURE 1. Cooling Center Los Acostas  
 FIGURA 1. Centro de enfriamiento Los Acostas.

The times for each operation were codified with the application of NC 34-37, 2003, making the necessary adjustments for the investigation of these installations, from the following expressions:

$$T_{TO} = T_1 + T_2 + T_3 + T_4 + T_8 \quad (1)$$

Where:

$T_{TO}$  -total observation time: must coincide with the difference between the times of starting and ending of the working day recorded in the observation hours;

$T_1$  -main time: includes only the time the cooling center is processing milk from the producers;

$T_2$  - auxiliary time: operations performed at the facility to perform laboratory tests on the quality of milk received;

$T_3$  - time of technical maintenance of the cooling center: includes all the operations of daily and scheduled technical maintenance, as well as the regulations that are made to the installation (cleaning, lubrication, screws tightening);

$T_4$  - time for the elimination of failures: it covers all technical and technological damages that the installation presents;

$T_8$  - stopping time due to external causes to the cooling center: due to weather, lack of electricity and other causes;

$T_{02}$ : The operating time: is the time in which the installation remains in operation, which includes the main and auxiliary times.

$$T_{02} = T_1 + T_2 \quad (2)$$

Productive time ( $T_{04}$ ): is the time in which the cooling center remains in operation and also includes the operations that guarantee its technical condition.

$$T_{04} = T_1 + T_2 + T_3 + T_4 \quad (3)$$

Los tiempos para cada operación fueron codificados con la aplicación de la NC 34-37:03, realizándole las adecuaciones necesarias para la investigación de estas instalaciones, a partir de las expresiones siguientes:

$$T_{TO} = T_1 + T_2 + T_3 + T_4 + T_8 \quad (1)$$

donde:

$T_{TO}$  – tiempo total de observación: debe coincidir con la diferencia entre las horas de inicio y fin de la jornada laboral registrada en las horas de observación cronometradas;

$T_1$  -tiempo principal: incluye solamente el tiempo en que el centro de enfriamiento está procesando la leche proveniente de los productores;

$T_2$  -tiempo auxiliar: operaciones que se realiza en la instalación para realizar las pruebas de laboratorio, sobre la calidad de la leche recibida;

$T_3$  - tiempo de mantenimiento técnico del centro de enfriamiento: incluye todas las operaciones de mantenimiento técnico diario y programado, así como las regulaciones que se le realicen a la instalación. (Limpieza, engrase, apriete de tornillos);

$T_4$  -tiempo para la eliminación de fallos: abarca todas las averías técnicas y tecnológicas que presente la instalación;

$T_8$  -tiempo de parada por causa ajenas al centro de enfriamiento: por causas meteorológicas, falta de corriente eléctrica y por otras causas;

El tiempo operativo ( $T_{02}$ ): es el tiempo en el cual la instalación permanece en funcionamiento, que incluye el tiempo principal y auxiliar.

$$T_{02} = T_1 + T_2 \quad (2)$$

El tiempo productivo ( $T_{04}$ ): es el tiempo en el cual el centro de enfriamiento permanece en funcionamiento y se incluyen además las operaciones que garantizan su estado técnico.

Shift time without failure ( $T_{SF}$ ) is the time when the cooling center performs all its functions without failures.

$$T_{SF} = T_1 + T_2 + T_3 \quad (4)$$

Operation time ( $T_{06}$ ) is equal to the productive time ( $T_{04}$ ).  
Determination of Productivity Indices in Cooling Centers:  
Productivity per hour at the main time.

$$W_1 = \frac{Q}{T_1}, \left[ \frac{L}{h} \right] \quad (5)$$

Where:

Q – Quantity of milk processed in the day, (L);  
Productivity per hour of operation time.

$$W_{02} = \frac{Q}{T_{02}}, \left[ \frac{L}{h} \right] \quad (6)$$

Productivity per hour of productive time.

$$W_{04} = \frac{Q}{T_{04}}, \left[ \frac{L}{h} \right] \quad (7)$$

Productivity per hour of shift time without failure.

$$W_{SF} = \frac{Q}{T_{SF}}, \left[ \frac{L}{h} \right] \quad (8)$$

**Operation coefficients:**

Coefficient of utilization of the operation time.

$$K_{02} = \frac{T_1}{T_1 + T_{02}} \quad (9)$$

Coefficient of utilization of the maintenance time.

$$K_{41} = \frac{T_1}{T_1 + T_3} \quad (10)$$

Coefficient of utilization of the shift time without failure.

$$K_{SF} = \frac{T_1}{T_1 + T_{SF}} \quad (11)$$

Coefficient of utilization of the time of operation.

$$K_{06} = \frac{T_1}{T_1 + T_{06}} \quad (12)$$

Electric energy costs:

Specific costs of electric energy consumed per unit of work performed.

$$E_e = \frac{E}{Q}, \left[ \frac{kWh}{L} \right] \quad (13)$$

Where:

E – Electric energy costs during the work, kWh, according to the meter of the cooling center.

$$T_{04} = T_1 + T_2 + T_3 + T_4 \quad (3)$$

El tiempo de turno sin fallo: es el tiempo en que el centro de enfriamiento realiza todas sus funciones sin que existan fallos.

$$T_{SF} = T_1 + T_2 + T_3 \quad (4)$$

El tiempo de explotación ( $T_{06}$ ): es igual al Tiempo Productivo ( $T_{04}$ ).

Determinación de los índices de Productividad en los centros de enfriamiento:

Productividad por hora de tiempo principal.

$$W_1 = \frac{Q}{T_1}, \left[ \frac{L}{h} \right] \quad (5)$$

donde:

Q – Cantidad de leche procesada en la jornada, (L).

Productividad por hora de tiempo operativo.

$$W_{02} = \frac{Q}{T_{02}}, \left[ \frac{L}{h} \right] \quad (6)$$

Productividad por hora de tiempo productivo.

$$W_{04} = \frac{Q}{T_{04}}, \left[ \frac{L}{h} \right] \quad (7)$$

Productividad por hora de tiempo de turno sin fallo.

$$W_{SF} = \frac{Q}{T_{SF}}, \left[ \frac{L}{h} \right] \quad (8)$$

Coefficientes de explotación:

Coefficiente de utilización del tiempo operativo.

$$K_{02} = \frac{T_1}{T_1 + T_{02}} \quad (9)$$

Coefficiente de utilización del tiempo de mantenimiento.

$$K_{41} = \frac{T_1}{T_1 + T_3} \quad (10)$$

Coefficiente de utilización del tiempo de turno sin fallo.

$$K_{SF} = \frac{T_1}{T_1 + T_{SF}} \quad (11)$$

Coefficiente de utilización del tiempo de explotación.

$$K_{06} = \frac{T_1}{T_1 + T_{06}} \quad (12)$$

Gasto de energía eléctrica:

Gasto específico de energía eléctrica consumida por unidad de trabajo realizado.

$$E_e = \frac{E}{Q}, \left[ \frac{kWh}{L} \right] \quad (13)$$

donde:

7E – Gasto de energía eléctrica durante la realización del trabajo, kWh, según el metrocontador eléctrico del centro de refrigeración.

Hourly costs of electric energy consumed by operating time.

$$E_h = \frac{E}{T_{06}}, \left[ \frac{\text{kWh}}{\text{h}} \right] \quad (14)$$

**Calculation of the operating costs of the cooling center,** according to NC 34-38, 2003, which was adapted to the operating conditions of it.

The operating costs in the cooling centers are determined by the following expression:

$$C_{EX} = \frac{C_{DE}}{W_{04}}, \left[ \frac{\text{peso}}{\text{L}} \right] \quad (15)$$

Where:

$C_{DE}$  - Direct operating costs in milk cooling.

The direct operating costs in the cooling of milk are calculated by the expression:

$$C_{DE} = C_S + C_A + C_{MR} + C_{Eh}, \left[ \frac{\text{peso}}{\text{h}} \right] \quad (16)$$

Where:

$C_S$  - Costs for salary, peso/h;

$C_A$  - Amortization costs, peso/h;

$C_{MR}$  - Costs for maintenance and repairs, peso/h;

$C_{Eh}$  - Costs for electric energy consumption; peso/h.

Each component of the total costs is determined according to the following expressions:

Salary costs are determined according to:

$$C_S = P_S \cdot S_p, \left[ \frac{\text{peso}}{\text{h}} \right] \quad (17)$$

Where:

$P_S$  - Number of service personnel;

$S_p$  - Hourly salary of service personnel, peso/h.

Amortization costs are determined by:

$$C_A = \frac{P_{CE} \cdot T_A}{C_{ZA}}, \left[ \frac{\text{peso}}{\text{h}} \right] \quad (18)$$

Where:

$P_{CE}$  - General cost of the installation: it is the sum of everything invested to put it in stable operation, peso;

$T_A$  - Amortization coefficient;

$C_{ZA}$  - Annual zonal load, h;

Where:

$$C_{ZA} = D \cdot T_{02}, \quad [h] \quad (19)$$

Where:

$D$  - Number of working days of the machine.

The costs for maintenance and repairs are equal to:

$$C_{MR} = \frac{P_{CE} \cdot (T_M + T_R)}{C_{ZA}}, \left[ \frac{\text{peso}}{\text{h}} \right] \quad (20)$$

Gasto horario de energía eléctrica consumida por tiempo de explotación.

$$E_h = \frac{E}{T_{06}}, \left[ \frac{\text{kWh}}{\text{h}} \right] \quad (14)$$

**Cálculo de los costos de explotación del centro de enfriamiento,** según NC 34-38, 2003, la cual fue adaptada a las condiciones de explotación de los mismos.

Los costos de explotación en los centros de enfriamiento se determinan por la expresión siguiente:

$$C_{EX} = \frac{C_{DE}}{W_{04}}, \left[ \frac{\text{peso}}{\text{L}} \right] \quad (15)$$

donde:

$C_{DE}$  - Costos directos de explotación en el enfriamiento de leche.

Los costos directos de explotación en el enfriamiento de leche se calculan por la expresión:

donde:

$C_S$  - Costos por concepto de salario, peso/h;

$C_A$  - Costos por concepto de amortización, peso/h;

$C_{MR}$  - Costos por concepto de mantenimiento y reparaciones, peso/h;

$C_{Eh}$  - Costos por concepto de consumo de energía eléctrica; peso/h

Se determinan cada uno de los componentes de los costos totales según las siguientes expresiones:

Los costos por concepto de salario se determinan según:

$$C_S = P_S \cdot S_p, \left[ \frac{\text{peso}}{\text{h}} \right] \quad (17)$$

donde:

$P_S$  - Cantidad de personal de servicio;

$S_p$  - Salario horario del personal de servicio, peso/h.

Los costos por concepto de amortización, según Informe de cierre mensual:

$$C_A = \frac{P_{CE} \cdot T_A}{C_{ZA}}, \left[ \frac{\text{peso}}{\text{h}} \right] \quad (18)$$

donde:

$P_{CE}$  - Costo general de la instalación: es la suma de todo lo invertido para poner en funcionamiento estable la misma, peso;

$T_A$  - Coeficiente de amortización;

$C_{ZA}$  - Carga zonal anual, h;

Siendo:

$$C_{ZA} = D \cdot T_{02}, \quad [h] \quad (19)$$

Donde:

$D$  - cantidad de días de trabajo anual de la máquina.

Los costos por concepto de mantenimiento y reparaciones, según Informe de cierre mensual:

$$C_{ZA} = D \cdot T_{02}, \quad [h] \quad (20)$$



Where:

$T_M$  - Coefficient of discount for maintenance;  
 $T_R$  - Coefficient of discount for repairs.

The costs for electricity consumption are equal to:

$$C_{E_h} = E_h \cdot P_{kW} , \quad \left[ \frac{\text{peso}}{\text{h}} \right] \quad (21)$$

Where:

$P_{kW}$  -Price of kWh of electric current, peso/kWh, according to the established tariffs of the electric company.

## RESULTS AND DISCUSSION

Analysis of the results of the technical - economic indicators of operating of the cooling centers used in the reception and cooling of the cow milk in the Guáimaro Municipality.

### Analysis of the operating times of the cooling centers used

Figure 2 shows the results of percentages of operation times with respect to the total time of observation in the centers of milk cooling, taking into account the two seasons of the year (rainy and not rainy). They behave similarly because it is a new technology that has recently started its operation and the times of fault elimination ( $T_4$ ) and stop due to external causes to the entity ( $T_8$ ) are zero, this means that the equipment has a high reliability during the work performed, which is a very positive aspect that also justifies the equivalence between productive time, time without failure and exploitation time, as well as the total observation time for the two periods analyzed, representing 100% (160,17 h) and (151,15 h) for the rainy and slightly rainy months, respectively. In the main time period ( $T_1$ ), it was 84,29% (135 h) in the rainy season and 84,46% (128 h) in the not rainy season, followed by the technical maintenance time ( $T_3$ ) with 14,32% (22,95 h) and 14,15% (21,45 h) for the rainy and not rainy months, respectively, mainly due to the therm cleaning times, a vital action to achieve high quality milk. On the other hand, the auxiliary time ( $T_2$ ) represented 1,339% for the two periods analyzed, this behavior is due to the accomplishment of another important task in the process that is the performance of the laboratory tests to determine the milk quality on which the raw material value depends. In addition, the operational time ( $T_{02}$ ) was 85,67% (137,22 h) and 85,85% (130,1 h) for the rainy and not rainy seasons, respectively.

Donde:

$T_M$  - Coeficiente de descuento por concepto de mantenimiento;  
 $T_R$  - Coeficiente de descuento por concepto de reparaciones;

Los costos por concepto de consumo de energía eléctrica es igual a:

$$C_{E_h} = E_h \cdot P_{kW} , \quad \left[ \frac{\text{peso}}{\text{h}} \right] \quad (21)$$

donde:

$P_{kW}$  - Precio del kWh de corriente eléctrica, peso/kWh, según las tarifas establecidas de la empresa eléctrica nacional.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de los resultados de los indicadores técnicos – económicos de explotación de los centros de enfriamiento utilizados en la recepción y enfriamiento de la leche vacuna en el municipio Guáimaro.

### Análisis de los tiempos de explotación de los centros de enfriamiento empleados

En la Figura 2 se muestran los resultados de los porcentajes de los tiempos de explotación con respecto al tiempo total de observación en los centros de enfriamiento de leche vacuna, teniendo en cuenta las dos épocas del año (lluviosa y poco lluviosa). Los cuales se comportan de forma similar debido a que es una nueva tecnología que comenzó recientemente su explotación y los tiempos de eliminación de fallos ( $T_4$ ) y de parada por causas ajenas a la entidad ( $T_8$ ) son ceros, esto significa que los equipos poseen una alta fiabilidad durante el trabajo realizado, aspecto muy positivo y además justifica la equivalencia entre los tiempos productivo, de turno sin fallo y de explotación, así como con el tiempo total de observación para los dos periodos analizados, representando el 100% (160,17 h) y (151,15 h) para la época lluviosa y poco lluviosa respectivamente. En el caso del tiempo principal ( $T_1$ ) representó un 84,29 % (135 h) en la época lluviosa y 84,46 % (128 h) en la poca lluviosa, seguido del tiempo de mantenimiento técnico ( $T_3$ ) con un 14,32 % (22,95 h) y 14,15 % (21,45 h) para el periodo lluvioso y poco lluvioso respectivamente, dado principalmente por los tiempos en la limpieza de los termos, acción de vital importancia para lograr alta calidad de la leche. Por otro lado el tiempo auxiliar ( $T_2$ ) representó el 1,39 % para los dos periodos analizados, este comportamiento se debe al cumplimiento de otra tarea importante dentro del proceso que es la realización de las pruebas de laboratorio para determinar la calidad de la leche ya que de esta depende el valor de la materia prima. Además el tiempo operativo ( $T_{02}$ ) representó el 85,67% (137,22 h) y de 85,85% (130,1 h) para el periodo lluvioso y poco lluvioso respectivamente.

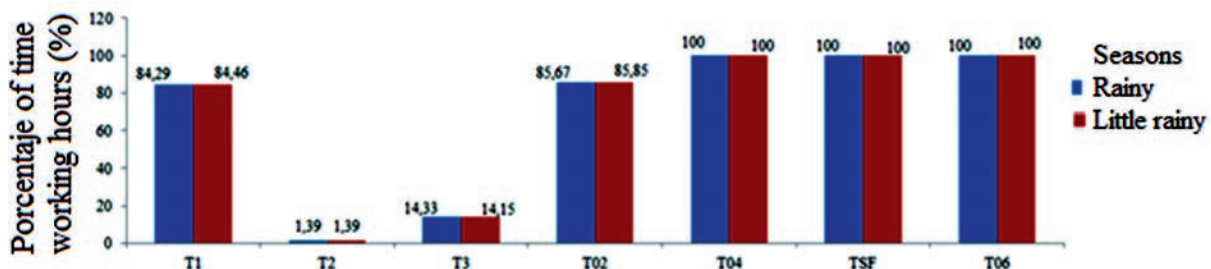


FIGURE 2. Percentage of the operation times of milk cooling centers in the municipality of Guáimaro.

FIGURA 2. Porcentaje de los tiempos de explotación de los centros de enfriamientos de leche vacuna en el municipio Guáimaro.

### Analysis of the behavior of the exploitation indicators

The cooling centers of Guáimaro Municipality have a total installed capacity in liters of milk of 31 200 for the rainy months and 30 420 in the not rainy ones. The actual quantity of milk cooled for the two seasons of the year (rainy and not rainy) analyzed was 28 053 and 10 888 liters of milk, respectively. As it can be seen, the total installed capacity compared to the actual cooled, in the rainy season, showed a 89,91%, greater value than in the not rainy season (35,79%), for an increase of 54,12% due to the greater production of milk (which means that in some centers their capacity is depleted and they must use the water storage tanks), so that there is a functioning practically to full capacity of the cooling centers at that time and therefore its best use. On the other hand, in the low rainy season the low capacity utilization means that a cooling center stops working and the ones that work do it below its installed capacity, so the historical volume of production was not taken into account for the location of such cooling centers, which presupposes that a technical - economic study was not carried out prior starting operation of these equipment.

Figure 3 shows the productivity behavior (L/h) in the different operation times, as it can be seen the productivity in the main time ( $W_1$ ) is 207,80 L/h and 85,06 L/h in the rainy and slightly rainy months, respectively, for an increase of 122,74 L/h (18,14%). This difference is due to the increase of milk production in this period, although this indicator can be increased with a better organization of the producers within the range of action with respect to the historical volumes of production and the capacity of the centers. A similar situation occurs in productivity per hour of productive time ( $W_{02}$ ) reaching values of 204,44 L/h in the rainy season and 83,69 L/h for the low rainfall and in the productivity of operating time ( $W_{06}$ ) that was 175,15 L/h and 71,84 L/h, respectively. It is also observed that the productivity per hour of shift time without fault ( $W_{SF}$ ) and hour of operation time are the same demonstrating the high reliability of this equipment.

### Análisis del comportamiento de los indicadores de explotación

Los centros de enfriamiento del municipio Guáimaro presentan una capacidad instalada total en litros de leche de 31 200 para la época lluviosa y 30 420 en la poca lluviosa. La cantidad real de leche enfriada para las dos épocas del año analizadas fue de 28 053 y 10 888 litros de leche respectivamente. Como se puede apreciar la capacidad total instalada con respecto a la real enfriada, en la época lluviosa arrojó un 89,91 %, mayor valor que en la poca lluviosa (35,79 %), para un incremento de 54,12 %, debido a la mayor producción de leche, (que conlleva que en algunos centros se agote su capacidad y deben utilizar los refrescaderos con depósitos de agua), por lo que existe un funcionamiento prácticamente a plena capacidad de los centros de enfriamiento en esa época y por ende su mejor aprovechamiento. Por otro lado en la época poco lluviosa el bajo aprovechamiento de la capacidad, significa que un centro de enfriamiento deja de funcionar y los que funcionan lo hacen muy por debajo de su capacidad instalada, por lo que no se tuvo en cuenta el volumen de producción histórica para la ubicación de dichos centros de enfriamientos, lo cual presupone que no se realizó un estudio técnico – económico previo a la puesta en explotación de estos equipos.

En la Figura 3 se muestra el comportamiento de la productividad (L/h) en los diferentes tiempos de explotación, como se puede apreciar la productividad en el tiempo principal ( $W_1$ ) es de 207,80 L/h y 85,06 L/h en la época lluviosa y poca lluviosa respectivamente, para un incremento de 122,74 L/h (18,14%), esta diferencia se debe al aumento de la producción de leche en este período, aunque se puede incrementar este indicador con una mejor organización de los productores dentro del radio de acción con respecto a los volúmenes históricos de producción y la capacidad de los centros. Algo similar ocurre en la productividad por hora de tiempo productivo ( $W_{02}$ ) alcanzando valores de 204,44 L/h en la época lluviosa y 83,69 L/h para la poca lluviosa y en la productividad de tiempo de explotación ( $W_{06}$ ) que fue de 175,15 L/h y 71,84 L/h respectivamente. Además se observa que la productividad por hora de tiempo de turno sin fallo ( $W_{SF}$ ) y por hora de tiempo de explotación son iguales demostrando la alta fiabilidad de estos equipos.

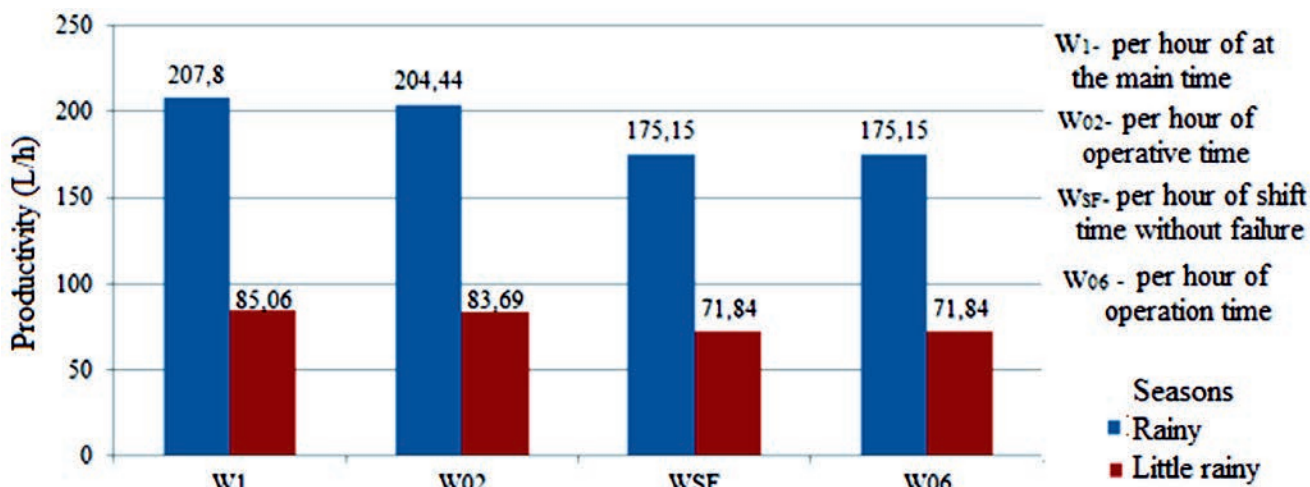


FIGURE 3. Productivity in the Different Times of Operation of Cow Milk Cooling Centers in Guáimaro Municipality.  
 FIGURA 3. Productividad en los diferentes tiempos de explotación de los centros de enfriamientos de leche vacuna en el municipio Guáimaro.

Figure 4 shows the values of the operational time utilization coefficients ( $K_{02}$ ), the maintenance time ( $K_{41}$ ), the time of failure and the exploitative time ( $K_{06}$ ) that behave similar for the two seasons by as explained above in the behavior of the results of operating times.

En la Figura 4 se muestra los valores de los coeficientes de utilización del tiempo operativo ( $K_{02}$ ), del tiempo de mantenimiento ( $K_{41}$ ), del tiempo de turno sin fallo y del tiempo explotativo ( $K_{06}$ ) que se comportan similares para las dos épocas, por lo explicado anteriormente en el comportamiento de los resultados de los tiempos de explotación.

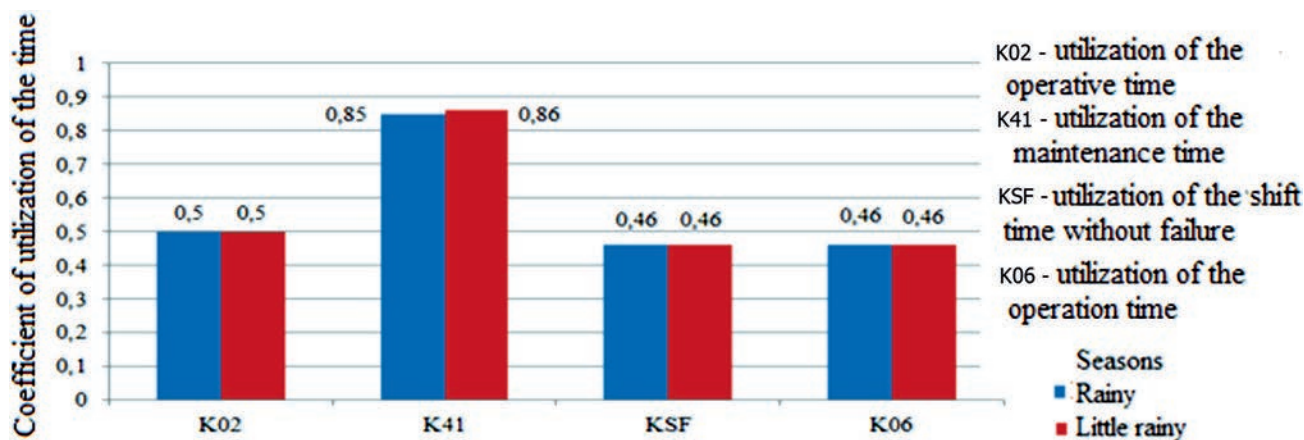


FIGURE 4. Operation Coefficients of Milk Cooling Centers in Guáimaro Municipality.  
 FIGURA 4. Coeficientes de explotación de los centros de enfriamientos de leche vacuna en el municipio Guáimaro.

In the case of the specific expenditure of electric energy consumed per work unit, the values for the two seasons (rainy and not very rainy) were 1,62 kWh/L and 3,42 kWh/L respectively. This increase of 1,8 kWh/L in the low rainy season is due to the fact that less milk is processed (almost one third less) and the equipment works practically the same as in the rainy months. The hourly electric power consumed by operating time was 283 kWh/h for the rainy season and 246 kWh/h for the little rainy season, this is due to the fact that the equipment keeps working in both seasons, which shows that in the little rainfall decreases the efficiency in the cooling centers, since the equipment works for a 35,79% of use of its capacity.

En el caso del gasto específico de energía eléctrica consumida por unidad de trabajo realizado, los valores para las dos épocas (lluviosa y poco lluviosa) fueron de 1,62 kWh/L y 3,42 kWh/L respectivamente, este incremento de 1,8 kWh/L en el periodo poco lluvioso se debe a que, se procesa menor cantidad de leche (casi la tercera parte menos) y los equipos funcionan prácticamente igual que en los meses lluviosos. El gasto horario de energía eléctrica consumida por tiempo de explotación fue de 283 kWh/h para la lluviosa y 246 kWh/h para la poco lluviosa, esto se debe a que los equipos se mantienen funcionando en las dos épocas, lo que demuestra que en la poco lluviosa disminuye la eficiencia en los centros de enfriamiento, ya que los equipos trabajan para un 35,79 % de aprovechamiento de su capacidad.

As it can be seen in Table 1, direct operating costs ( $C_{DE}$ ) amount to 18,11 peso/h in the rainy season and 9,56 peso/h in the little rainy season, where wage costs ( $C_s$ ) represented the highest percentage with 58,92% and electricity consumption ( $C_{Eh}$ ) 41,10% in the rainy season; and in the low rainfall, the highest percentage falls in the costs of electric energy consumption ( $C_{Eh}$ ) representing 51,36% and salary of 48,64%. The operation costs per liter of cooled milk ( $C_{EX}$ ) were 0,10 peso/L and 0,13 peso/L for the rainy season and less rainfall respectively, the difference of 0,03 peso/L is due to the decrease of milk production in the rainy season.

En la Tabla 1 se muestra los resultados del análisis de los costos de explotación de los centros de enfriamiento de leche en el municipio de Guáimaro.

Como se aprecia en la Tabla 1, los costos directos de explotación ( $C_{DE}$ ) ascienden a 18,11 peso/h en la época lluviosa y 9,56 peso/h en la poco lluviosa, donde los costos por concepto de salario ( $C_s$ ) representó el mayor porcentaje con un 58,92% y consumo de energía eléctrica ( $C_{Eh}$ ) un 41,10% en la época lluviosa; y en la poco lluviosa, el mayor porcentaje recae en los costos por concepto de consumo de energía eléctrica ( $C_{Eh}$ ) representando un 51,36% y salario un 48,64%. Los costos de explotación por litro de leche enfriada ( $C_{EX}$ ) fue de 0,10 peso/L y 0,13 peso/L para la época lluviosa y poca lluviosa respectivamente, la diferencia de 0,03 peso/L se debe a la disminución de la producción de leche en la época poco lluviosa.

TABLE 1. Operation Costs of Milk Cooling Centers in Municipality of Guáimaro  
 TABLA 1. Costos de explotación de los centros de enfriamiento de leche en el municipio de Guáimaro

Parameters	U/M	Value	
		Rainy	Little rainy
Costs for salary ( $C_s$ )	peso/h	10,67	4,65
Costs for electricity consumption ( $C_{Eh}$ )	peso/h	7,44	4,21



Parameters	U/M	Value	
		Rainy	Little rainy
Operation Costs ( $C_{DE}$ )	peso/h	18,11	9,56
Operation Costs ( $C_{EX}$ )	peso/L	0,10	0,13

## CONCLUSIONS

- Productivity in the main time obtained was 207,80 and 85,06 L/h in the rainy and low rainy season, respectively, for an increase of 122,74 L/h (18,14%). Great difference between the two analyzed seasons due to the increase of production in the rainy season, which allows a greater use of the capacity of the cooling centers of 89,91% for this time of the year and the inefficiency of these in the little rainy season, since the equipment works to 35,79% of its capacity;
- The coefficients of use of the times were similar in the two seasons analyzed (rainy and little rainy) and with high values of 0,84 of the main time and 0,85 of operative time, because the times of elimination of failures and outages due to external causes are null, demonstrating a high reliability of the equipment during the work;
- The specific expenditure of electric energy consumed per unit of work was 1,62 kWh/L for rainy and 3,42 kWh/L for not rainy season and the hourly electric power consumed per operating time was 283 kWh/h and 246 kWh/h for the rainy and not rainy, respectively. That demonstrates the inefficiency of cooling centers in the not rainy season, as they consume almost the same amount of electricity and actually cool less than half of milk than in rainy season. The highest costs in cooling centers are referred to wage costs ( $C_s$ ) 58,92% and electricity consumption ( $C_{Eh}$ ) 41,10% in the rainy season; and in the not rainy season, costs of energy consumption ( $C_{Eh}$ ) 51,36% and salary 48,64%. The direct operating costs ( $C_{DE}$ ) amount to 18,11 peso/h in the rainy season and 9,56 peso/h in the not rainy season. Operating costs per liter of cooled milk ( $C_{EX}$ ) were 0,10 peso/L and 0,13 peso/L for the rainy season and not rainy season, respectively, the increase of 0,03 peso/L is due to the fact that in not rainy season less milk is cooled.

## ACKNOWLEDGMENTS

I am grateful to the management of the Cheese Factory “Geonel Rodríguez Cordoví” of the Dairy Products Company, Guáimaro Municipality and the technicians and workers staff of the 19 Refrigerated Milk Collecting Centers for allowing the development of this research in their units of production. In addition to the support of the Department of Mechanical Engineering and students who collaborated with the completion of their diploma work.

## REFERNCES / REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

DE LAS CUEVAS, M.H.R.; RAVELO, I.; DÍAZ, A.; PANEQUE, P.: “Evaluación tecnológica y de explotación de la combinada de caña CA-MECO”, *Revista Ingeniería Agrícola*, 4(4): 35-38, 2014, ISSN: 2227-8761.

## CONCLUSIONES

- Las productividades en el tiempo principal obtenidas ascienden a valores de 207,80 y 85,06 L/h en la época lluviosa y poco lluviosa respectivamente, para un incremento de 122,74 L/h (18,14%), se obtuvo una gran diferencia entre las dos épocas analizadas debido al incremento de la producción en la lluviosa, lo que permite un mayor aprovechamiento de la capacidad de los centros de enfriamientos de 89,91 % para esta época del año y la ineficiencia de estos en la poco lluviosa, ya que los equipos trabajan a un 35,79 % de su capacidad;
- Los coeficientes de utilización de los tiempos se comportaron similares en la dos épocas (lluviosa y poco lluviosa) analizadas y con valores altos de 0,84 del tiempo principal y 0,85 de tiempo operativo, debido a que los tiempos de eliminación de fallos y paradas por causas ajenas son nulos, demostrando una alta fiabilidad de los equipos durante el trabajo;
- El gasto específico de energía eléctrica consumida por unidad de trabajo realizado fue de 1,62 kWh/L para la lluviosa y 3,42 kWh/L para la poco lluviosa y el gasto horario de energía eléctrica consumida por tiempo de explotación fue de 283 kWh/h y 246 kWh/h para la lluviosa y poco lluviosa respectivamente, esto demuestra la ineficiencia de los centros de enfriamiento en la poco lluviosa, ya que consumen casi la misma cantidad de energía eléctrica y enfría realmente menos de la mitad de leche que en la lluviosa;
- Los costos de mayor porcentaje en los centros de enfriamiento recaen en los costos por concepto de salario ( $C_s$ ) en un 58,92% y consumo de energía eléctrica ( $C_{Eh}$ ) un 41,10% en la época lluviosa; y en la poca lluviosa, recae en los costos por concepto de consumo de energía eléctrica ( $C_{Eh}$ ) en un 51,36% y salario un 48,64%;
- Los costos directos de explotación ( $C_{DE}$ ) ascienden a 18,11 peso/h en la época lluviosa y 9,56 peso/h en la poca lluviosa;
- Los costos de explotación por litro de leche enfriada ( $C_{EX}$ ) fue de 0,10 peso/L y 0,13 peso/L para la época lluviosa y poca lluviosa respectivamente, el incremento de 0,03 peso/L se debe a que en la época poca lluviosa se enfría menor cantidad de leche.

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la dirección de La Fábrica de Quesos “Geonel Rodríguez Cordoví” de la Empresa de Productos Lácteos, del municipio Guáimaro y al personal técnico y obrero de los 19 Centros de Acopio Colectivos de Leche Refrigerada por el apoyo brindado en el desarrollo de esta investigación en sus unidades de producción. Además del apoyo del Departamento de Ingeniería Mecánica y los estudiantes que colaboraron con la realización de su trabajo diploma.



- DE LAS CUEVAS, M.H.R.; RODRÍGUEZ, H.T.; PANEQUE, R.P.; DÍAZ, Á.M.: “Costos de explotación de una máquina de siembra directa”, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 22(1): 12-15, 2013, ISSN: 2071-0054.
- LLANES, C.E.A.: “Comportamiento de los índices de consumo energético en la industria arrocera en la provincia cubana de Granma”, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 18(1): 76-81, 2009, ISSN: 1010-2760.
- MATOS, N.; GARCÍA, E.: “Evaluación técnica y de explotación de los camiones en la transportación de la caña”, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 21(2): 30-33, 2012, ISSN: 2071-0054.
- MATOS, N.; GARCÍA, E.; GONZÁLEZ, J.: “Evaluación técnica y de explotación de las cosechadoras de caña Case-7 000”, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 19(4): 6-9, 2010, ISSN: 2071-0054.
- MIRANDA, A.; CASTELLS, S.; FERNÁNDEZ, O.; SANTOS, F.; IGLESIAS, C.: “Análisis de la utilización del tiempo de turno por las cosechadoras arroz CLAAS DOMINATOR”, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 22(4): 27-31, 2013, ISSN: 2071-0054.
- MIRANDA, C.A.; IGLESIAS, C.C.; ANILLO, J.; FALCÓN, L.; RIVERO, F.R.; RIVERO, M.R.; RUIZ, L.M.; CRUZ, B.A.: “Evaluación tecnológica y explotación de las cosechadoras de arroz New Holland L-520”, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 11(4): 13-15, 2002, ISSN: 1010-2760.
- MOREJÓN, Y.; IGLESIAS, C.; DOMÍNGUEZ, G.: “Evaluación de los medios de transporte utilizados en el proceso cosecha-transporte del arroz en el Complejo Agroindustrial “Los Palacios””, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 21(3): 45-48, 2012, ISSN: 2071-0054.
- OFICINA NACIONAL DE NORMALIZACIÓN: *Leche. Prueba de la acidez mediante la prueba de alcohol al 72%*, no. NC 78-25-09:83, La Habana, Cuba, 1983.
- OFICINA NACIONAL DE NORMALIZACIÓN: *Leche. Toma de muestras*, no. NC 78-11:86, La Habana, Cuba, 1986.
- OFICINA NACIONAL DE NORMALIZACIÓN: *Leche. Prueba de california para el diagnóstico de mastitis*, no. NC 118:01, La Habana, Cuba, 2001a.
- OFICINA NACIONAL DE NORMALIZACIÓN: *Leche. Prueba de la densidad*, no. NC 119:01, La Habana, Cuba, 2001b.
- OFICINA NACIONAL DE NORMALIZACIÓN: *Máquinas agrícolas y forestales. Metodología para la evaluación económica*, no. NC 34-38:03, La Habana, Cuba, 2003a.
- OFICINA NACIONAL DE NORMALIZACIÓN: *Máquinas agrícolas y forestales. Metodología para la evaluación tecnológica - explotativa*, no. NC 34-37:03, La Habana, Cuba, 2003b.
- ONEI (OFICINA NACIONAL DE ESTADÍSTICA E INFORMACIÓN): *Anuario Estadístico de Cuba, [en línea]*, Ed. ONEI, La Habana, Cuba, 445 p., 2015, ISBN: 978-959-7119-62-3, Disponible en: <http://www.onei.cu/aec2014/00%20Anuario%20Estadistico%202014.pdf>, [Consulta: 21 de febrero de 2016].
- ONEI (OFICINA NACIONAL DE ESTADÍSTICA E INFORMACIÓN): *Anuario Estadístico de Cuba, [en línea]*, Ed. ONEI, La Habana, Cuba, 2016, Disponible en: <http://www.onei.cu/aec2015.htm>, [Consulta: 29 de mayo de 2016].
- PONCE, P.: “Un enfoque crítico de la lechería internacional y cubana”, *Revista de Salud Animal*, 31(2): 77-85, 2009, ISSN: 0253-570X.
- VALDÉS, H.P.A.; DE LAS CUEVAS, H.; RODRÍGUEZ, D.; SUÁREZ, R.; GÓMEZ, Á.M.V.; DELGADO, R.: “Determinación de los indicadores tecnológicos y de explotación de la máquina picadora de forraje MF IIMA modelo EM-01 modificada”, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 24(3): 28-34, 2015, ISSN: 2071-0054.
- VÁZQUEZ, H.B.; PARRA, L.R.; SÁNCHEZ-GIRÓN, V.M.; ORTIZ, A.: “Análisis de la productividad y el consumo de combustible en conjuntos de labranza en un fluvisol para el cultivo de la yuca (*Manihot esculenta*, Crantz)”, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 21(2): 38-41, 2012, ISSN: 2071-0054.

**Received:** 27/11/2016.

**Approved:** 15/06/2017.

*Dusquier Elizalde Rodríguez*, Profesor Instructor, Universidad de Camagüey “Ignacio Agramonte y Loynaz”, Facultad de Electromecánica, Departamento de Ingeniería Mecánica, Circunvalación Norte km 23½, Camagüey, Cuba, Teléfono: (032) 261456, E-mail: [dusquier.elizalde@reduc.edu.cu](mailto:dusquier.elizalde@reduc.edu.cu).

*Neeldes Matos Ramírez*, E-mail: [@reduc.edu.cu](mailto:@reduc.edu.cu)

*Pedro A. Valdés Hernández*, E-mail: [pvaldes@unah.edu.cu](mailto:pvaldes@unah.edu.cu)

*Dalmis Delgado González*, E-mail: [dusquier.elizalde@reduc.edu.cu](mailto:dusquier.elizalde@reduc.edu.cu)

*Leider Labrada Acosta*, E-mail: [dusquier.elizalde@reduc.edu.cu](mailto:dusquier.elizalde@reduc.edu.cu)

*Randy Milanés Pérez*, E-mail: [dusquier.elizalde@reduc.edu.cu](mailto:dusquier.elizalde@reduc.edu.cu)

Note: the mention of commercial equipment marks, instruments or specific materials obeys identification purposes, there is not any promotional commitment related to them, neither for the authors nor for the editor.



## Comparison of Energy Cost in Corn Cultivation with Conventional and Conservation Agriculture Systems

### *Comparación del costo energético en el cultivo del maíz con Sistemas Convencional y de Conservación*

Dr.C. Pedro Paneque-Rondón<sup>I</sup>, M.Sc. Wolfgang Jiménez<sup>II</sup>, Dr.C. Pablo Hernández-Alfonso<sup>I</sup>  
M.Sc. María Victoria Gómez-Águila<sup>III</sup>, M.Sc. Héctor R. De las Cuevas-Milán<sup>I</sup>, Dr.C. Alexander Miranda-Caballero<sup>IV</sup>

<sup>I</sup> Universidad Agraria de La Habana, Facultad de Ciencias Técnicas, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba.

<sup>II</sup> Universidad Politécnica Territorial “José A. Anzoátegui, El Tigre, Edo. Anzoátegui, Venezuela.

<sup>III</sup> Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, Edo. México, México.

<sup>IV</sup> Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, Unidad Científico Tecnológica de Base Los Palacios, Pinar del Río, Cuba.

**ABSTRACT.** The objective of the research was to compare the energy cost of the main mechanized agricultural operations, emphasizing the tillage/seeding and quantify their possible saving using the Conservation System (no till with cover), in relation to the Conventional System, starting from the hypothesis that it is possible to reduce the energy cost by more than 10% in agricultural machinery operation in corn (*Zea mays* L.) cultivation of Los Riecos Company in Freites Municipality, Anzoátegui State. In the experimental design, an analysis of variance was used to determine the existence of significant differences or not between the population means of each variable and the treatments applied. For the determination of energy and operating cost, the program “Energy and Operation Costs” was used. Bulk density, moisture and soil resistance, as well as fuel consumption, energy costs and operating costs were studied in each experimental unit. It is concluded that there are no significant differences in bulk density, moisture and soil resistance in the studied depths. Physical-mechanical characteristics of the tested plots of soils do not interfere in the application of the treatments. The system with the lowest energy cost, operating costs and fuel consumption, with an average value of 28.9 L•ha<sup>-1</sup>, was that of Conservation. The technology used in the Conservation System meant a saving of labor, by investing less time (4 h•ha<sup>-1</sup>) of machinery use.

**Keywords:** no till with cover, mechanized operations

**RESUMEN.** El objetivo de la investigación fue comparar el costo energético de las principales operaciones agrícolas mecanizadas, haciendo énfasis en la labranza/siembra y cuantificar su posible ahorro utilizando el Sistema de Conservación (siembra directa con cobertura), con relación al Sistema Convencional, partiendo de la hipótesis de que es posible reducir el costo energético en más de un 10%, en la explotación de la maquinaria agrícola, en el cultivo del maíz (*Zea mays* L.), de la Empresa Los Riecos del Municipio Freites, Estado Anzoátegui. Fue utilizado en el diseño experimental, un análisis de varianza para la determinación de la existencia de diferencias significativas o no entre las medias poblacionales de cada variable y los tratamientos aplicados. Para la determinación de los costos energéticos y de explotación se utilizó el programa “Costos Energéticos y de Explotación”. En cada unidad experimental fueron estudiadas densidad aparente, humedad y resistencia del suelo; consumo de combustible costo energético y gastos de explotación. Se concluye que no existen diferencias significativas en la densidad aparente, humedad, resistencia del suelo, en las profundidades estudiadas. Las características físico-mecánicas de los suelos de las parcelas ensayadas no interfieren en la aplicación de los tratamientos. El sistema con menos costo energético, gastos de explotación y consumo de combustible, con un valor medio de 28,9 L•ha<sup>-1</sup>, fue el de Conservación. La tecnología empleada en el Sistema de Conservación significó un ahorro de mano de obra, al invertir menos tiempo (4 h•ha<sup>-1</sup>) de utilización de la maquinaria.

**Palabras clave:** siembra directa con cobertura, operaciones mecanizadas

## INTRODUCTION

The accentuated use of conventional technology in world agriculture during last decades has generated an unfavorable

## INTRODUCCIÓN

El uso acentuado de la tecnología convencional en la agricultura mundial durante las últimas décadas, ha generado una

situation from the point of view of the productive natural resources conservation, especially soil (FAO, 1992; López *et al.*, 2010; Arvidsson & Hakansson, 2014).

Some authors have pointed out that the cost of agricultural machinery in Chile, in terms of fuel, fluctuates between 35 and 45% of the total cost of production<sup>1</sup> (Paneque, *et al.*, 1998). On the other hand in Venezuela this aspect has not been studied in depth. In the same sense, several researches have established that energy cost for fuel and machinery represents a high percentage of the total energy cost of production in business agriculture (Pick, 1989; Fluck, 1992; De las Cuevas *et al.*, 2011). Fluck & Baird (1980) calculated that a tractor of the type 75 kW has an energy cost of approximately 1060 MJ/h, of which 77% corresponds to fuel.

Considering that there are no scientific data in this area to quantify the yield and energy cost of the machinery, with the technology of conventional seeding and direct seeding, there is a need to carry out the present research work, which will allow, through the comparison of the two technologies with corn (*Zea mays* L.), determining the energy and production costs and protecting the soil resource and the environment.

The objective of the research was to compare the energy cost of the main mechanized agricultural operations, emphasizing the tillage using Direct System with Cover (SDC) (Conservation System), in relation to the Conventional System (SC), starting from the hypothesis that it is possible to reduce more than 10% energy cost in the exploitation of agricultural machinery, in the cultivation of corn (*Zea mays* L.), of Los Riecos Company in Freitas Municipality, Anzoátegui State, Venezuela.

## METHODS

The experiment was carried out in the Northern Summer 2014-2015 cycle with irrigation system with central pivot, between September and January, in the agro-industrial complex Los Riecos, San Tomé, Cantaura Parish, Freitas Municipality of Anzoátegui State, in Venezuela. It is characterized by an average annual precipitation regime of 1100 mm and average temperature 27 °C and 256 msnm, relative humidity of 77, 3 % in the rainy season and 64, 1% in the dry season.

### Characterization of Plots and Experimental Design

Each experimental plot occupied an area of 1000 m<sup>2</sup>, being 20 m wide and 50 m long, separated by 4 m wide tracks. Along 10 m paths at its longitudinal ends, the maneuvers and agricultural set speed stabilization were performed, studying in them the behavior of bulk density, moisture and soil resistance, fuel consumption and energy cost of two tillage and seeding systems for corn (*Zea mays* L.). STATGRAPHICS Plus Version 5.0 was used as statistical tool for data processing. Simple ANOVA and Tukey's test (HSD),  $p < 0.05$  was used for mean comparison.

situación poco favorable desde el punto de vista de la conservación de los recursos naturales productivos, especialmente el suelo (FAO, 1992; López *et al.*, 2010; Arvidsson y Hakansson, 2014).

Algunos autores han señalado que el costo por concepto de maquinaria agrícola en Chile, en cuanto a combustible, fluctúa entre 35 y 45% del costo total de producción<sup>1</sup> (Paneque *et al.*, 1998). Por otro lado en Venezuela este aspecto no se ha estudiado con profundidad. En ese mismo sentido, varias investigaciones han establecido que el costo energético por concepto de combustible y máquinas representa un alto porcentaje del costo energético total de producción en la agricultura empresarial (Pick, 1989; Fluck, 1992; de las Cuevas *et al.*, 2011). Algunos autores han calculado que un tractor del tipo 75 kW tiene un costo energético aproximado de 1060 MJ/h del cual el 77% corresponde a combustible (Fluck y Baird, 1980).

Considerando que en esta zona no existen datos científicos que les permita cuantificar el rendimiento y costo energético en la explotación de la maquinaria, con la tecnología de la siembra convencional y la siembra directa, surge la necesidad de realizar el presente trabajo de investigación, el cual permitirá a través de la comparación de ambas tecnologías en el cultivo del maíz (*Zea mays* L.), determinar los costos energéticos y de producción, además de proteger el recurso suelo y el medio ambiente.

El objetivo de la investigación fue comparar el costo energético de las principales operaciones agrícolas mecanizadas, haciendo énfasis en la labranza/siembra utilizando el sistema de siembra directa con cobertura (SDC) (Sistema de Conservación), con relación al Sistema Convencional (SC), partiendo de la hipótesis de que es posible reducir el costo energético en más de un 10%, en la explotación de la maquinaria agrícola, en el cultivo del maíz (*Zea mays* L.), de la Empresa Los Riecos del Municipio Freitas, Estado Anzoátegui, Venezuela.

## MÉTODOS

El experimento fue realizado en el ciclo Norte Verano 2014-2015 con sistema de riego con pivote central, entre septiembre-enero, en el complejo agroindustrial Los Riecos, San Tomé, Parroquia Cantaura, Municipio Freitas del Estado Anzoátegui, Venezuela. El área experimental se caracteriza por un régimen de precipitación media anual de 1100 mm y temperatura media 27 °C y 256 msnm, humedad relativa de 77,3% en la época lluviosa y 64,1% en la época seca.

### Caracterización de las parcelas y el diseño experimental

Cada parcela experimental ocupó un área de 1000 m<sup>2</sup>, siendo 20 m de ancho y 50 m de longitud, separadas por calles de 4 m de ancho. En sus extremos longitudinales por corredores de 10 m, para las maniobras y estabilización de la velocidad de los conjuntos agrícolas, estudiando en las mismas el comportamiento de la densidad aparente, humedad y resistencia del suelo; consumo de combustible y costo energético de dos sistemas de labranza y siembra para el cultivo del maíz (*Zea mays* L.). Para el procesamiento de los datos se utilizó el utilitario estadístico STATGRAPHICS Plus Versión 5.0. Se aplicó ANOVA simple y la prueba de Tukey (HSD),  $p < 0,05$  para la comparación de las medias.

<sup>1</sup> HETZ, E.: Costos de operación de tractores y máquinas agrícolas. En: IV Sem. Nac. De Mecanización Agrícola, 26pp. Univ. De Concepción, Chillán. Chile, 1990.

## Soil Characterization

The soil of the experimental area is taxonomically classified as Ultisol, characterized by high sand content of up to 88%, highly drained, low fertility, acid pH ranging from 4.5 to 5.5, notably phosphorus deficiency by its high fixation<sup>2</sup>. Therefore, it requires a high agronomic management to better these limitations and to increase its capacity of use. Physical characterization of the soil was carried out, determining: moisture, bulk density and resistance to penetration from 0 to 30 cm.

## Determination of Soil Moisture

Samples were collected in aluminum foil and taken to the Soil Laboratory of José A. Anzoátegui Polytechnic University (UPTJAA), to be weighed in an electronic balance with 0.001 g of precision. All samples were weighed and the paper weight + wet soil was determined and dried for 24 h in a Memmert electric oven at 110 °C. Then they were allowed to rest to re-weigh and to know the data of the weight of aluminum foil + dry soil (NC 67: 2000). Subsequently the corrections were made taking into account the weight of aluminum foil, calculating the moisture through the following expression 1:

$$H = \frac{M_{shum} - M_{sseco}}{M_{sseco}} \quad (1)$$

where:

$M_{shum}$  and  $M_{sseco}$  - Are the masses of wet and dry soil, respectively, g.

## Penetration Resistance (RP)

To determine soil resistance to penetration of the experimental area, a dynamic cone penetrometer was used, consisting of an impact mass of 2.3 kg and a free fall distance of 0.6 m. The readings of the number of blows per depth at intervals of 5 cm were recorded at the same sampling points above, the maximum depth being explored depending on the particularities of the soil of the point in question<sup>3</sup>. The values obtained were translated to RP values using Scala's (1956) formulation quoted by Stout et al. (1990) as described in expression 2.

$$RP = \frac{M}{(M + m)} \frac{Mgh}{A_x} + (M + m) \frac{g}{A} \quad (2)$$

where:

A- area of the cone base, cm<sup>2</sup>;

g - acceleration of gravity, cm/s<sup>2</sup>;

h- drop height, m;

M-impact mass, kg;

m-mass of the penetrometer without considering, M, kg;

X-penetration distance, cm.

## Caracterización de los suelos

El suelo del área experimental está taxonómicamente clasificados como Ultisol, se caracterizan por alto contenido de arena de hasta un 88%, altamente drenados, baja fertilidad, pH ácido que oscila entre 4,5 y 5,5, notablemente con deficiencia de fósforo por su alta fijación<sup>2</sup>. Por lo cual requiere de un alto manejo agronómico para mejorar estas limitaciones y elevar su capacidad de uso. Fue realizada la caracterización física del suelo, determinándose: humedad, densidad aparente y resistencia a la penetración de 0 a 30 cm.

## Determinación de la humedad del suelo

Las muestras se recogieron en papel de aluminio y se llevaron al Laboratorio de Suelos de la Universidad Politécnica Territorial "José A. Anzoátegui (UPTJAA), para ser pesadas en una balanza electrónica con 0,001 g de precisión. Se procedió a pesar todas las muestras y determinar el peso del papel + suelo húmedo y se colocaron para su secado 24 h en una estufa eléctrica modelo Memmert a 110 °C. Luego se dejaron reposar para volver a pesar y conocer los datos del peso del papel de aluminio + suelo seco (NC 67: 2000). Posteriormente se hicieron las correcciones tomando en cuenta el peso del papel de aluminio, realizándose los cálculos de la humedad a través de la siguiente expresión 1:

$$H = \frac{M_{shum} - M_{sseco}}{M_{sseco}} \quad (1)$$

donde:

$M_{shum}$  y  $M_{sseco}$  - son las masas de suelo húmedo y seco, respectivamente, g

## Resistencia a la penetración (RP)

Para determinar la resistencia a la penetración del suelo del área experimental se utilizó un penetrómetro dinámico de cono, que consta de una masa de impacto de 2,3 kg y distancia de caída libre de 0,6 m. Las lecturas del número de golpes por profundidad a intervalos de 5 cm se registraron en los mismos puntos de muestreo anteriores, siendo la máxima profundidad explorada dependiente de las particularidades del suelo del punto en cuestión<sup>3</sup>. Los valores obtenidos fueron traducidos a valores de RP mediante la formulación de Scala (1956), citado por Stout et al. (1990), como se describe en la expresión 2.

$$RP = \frac{M}{(M + m)} \frac{Mgh}{A_x} + (M + m) \frac{g}{A} \quad (2)$$

donde:

A- área de la base del cono, cm<sup>2</sup>;

g- aceleración de la gravedad, cm/s<sup>2</sup>;

h - altura de caída, m;

M-masa de impacto, kg;

m-masa del penetrómetro sin considerar M, kg;

x-distancia de penetración, cm.

<sup>2</sup> "[Community\_garden] Urban Ag/Community Ag projects in Chile?", [en línea], En: 2010, Disponible en: [http://list.communitygarden.org/pipermail/community\\_garden\\_list.communitygarden.org/2010-July/004632.html](http://list.communitygarden.org/pipermail/community_garden_list.communitygarden.org/2010-July/004632.html), [Consulta: 23 de junio de 2017].

<sup>3</sup> FONTANETTO y KELLER: Efecto de las labranzas sobre propiedades del suelo y los rendimientos. [en línea] 1998, Disponible en: <http://rafaela.inta.gov.ar/productores/97-98/Indice.htm>. [Consulta: octubre, 24 2014].



## Determination of Soil Bulk Density

Bulk density. It is defined as the relationship between the dry mass of a soil sample and the volume occupied by that sample in the field. The result of the ratio (mass / volume) is obtained in grams per cubic centimeters ( $\text{g/cm}^3$ ).

To determine the bulk density of the soil, Uhland cylinder method was used using five cylinders per plots to extract soil samples, each length and diameter were measured with a caliper gauge (Vernier). To determine the volume, samples were taken at the 10 chosen points, placed in aluminum foil, weighed and taken to an oven at  $110^\circ\text{C}$  for 24 hours, in order to determine the weight of the soil. The procedure for sampling was calculated by equation 3.

$$D_a = \frac{M_{ss}}{V_c} \quad (3)$$

Where:

$D_a$ - soil bulk density,  $\text{g/cm}^3$ ;

$M_{ss}$ -dry soil mass, g;

$V_c$ -volume of the cylinder,  $\text{cm}^3$ .

## Characterization of Machines

A Massey Ferguson tractor model 680 4x4, 6,000 kg, and 292 4x2 TDA with a maximum power of 48 kW (65 hp) in the engine at 2,000 rpm and a mass of 3 150 kg was used as the energy source in the experimental tests.

The implements and machines used in conducting the experiment were the following:

- Rotating Disc Harrow (Trail) with 36 discs: 18 teeth in the front, 18 smooth edges in the back and 1 800 kg mass.
- Jacto bar sprayer of 2000 L capacity and 850 kg of mass and working width of 14 m.
- Vence Tudo Seeding machine SA 14600 A, of 6 lines for grains with 1 300 kg.
- Vicon Fertilizer for application of granulated fertilizer and mass of 130 kg.
- Massey Ferguson harvester machine (combine, model 5680 with mass of 8060 kg).

## Energy and Operation Costs in Agricultural Sets

For the determination of the energy and operation costs, the work of several specialists was studied and different methodologies were used. Burhan *et al.* (2004); Meul *et al.* (2007); Fumagalli, *et al.* (2011) and Mohammadhossein *et al.* (2012). The computer program "Energy and Exploitation Costs (CEE)" was used, which is an automated system elaborated in the CEMA by De las Cuevas, *et al.* (2009), this system allowed the analysis of the primary data of the observations, as well as the determination of the aforementioned costs.

## RESULTS AND DISCUSSION

### Characterization of Experimental Researches

The experimental area is characterized by an average annual rainfall of 1100 mm and a mean temperature of  $27^\circ\text{C}$

## Determinación de la densidad aparente del suelo

Densidad aparente. Se define como la relación que hay entre la masa seca de una muestra de suelo y el volumen que ocupó dicha muestra en el campo. El resultado de la relación (masa/volumen) se obtiene en gramos por centímetros cúbico ( $\text{g/cm}^3$ ).

Para determinar la densidad aparente del suelo se utilizó el método de cilindro Uhland utilizando cinco cilindros por parcelas para extraer las muestras del suelo, a cada cilindro se le midió la longitud y el diámetro interior, utilizando un pie de rey (Vernier). Para determinar el volumen, las muestras se tomaron en los 10 puntos elegidos, colocadas en papel de aluminio, pesadas y llevadas a una estufa a  $110^\circ\text{C}$  por 24 horas, para así determinar el peso del suelo. El procedimiento para la toma de muestra se calculó por la ecuación 3.

$$D_a = \frac{M_{ss}}{V_c} \quad (3)$$

donde:

$D_a$ -densidad aparente del suelo,  $\text{g/cm}^3$ ;

$M_{ss}$ -masa de suelo seco, g;

$V_c$ -volumen del cilindro,  $\text{cm}^3$ .

## Caracterización de las máquinas

Fue utilizado como fuente energética en las pruebas experimentales un tractor Massey Ferguson, modelo 680 4x4, 6 000 kg, y 292 4x2 TDA con potencia máxima de 48 kW (65 cv) en el motor a 2 000 rpm y masa de 3 150 kg.

Los implementos y máquinas utilizados en la conducción del experimento fueron los siguientes:

- Rastra (Grada) Rota Agro de 36 discos, 18 dentados al frente y 18 de bordes lisos en la parte trasera y 1 800 kg de masa.
- Pulverizador de barra, Jacto de 2000 L de capacidad y 850 kg de masa y ancho de trabajo de 14 m.
- Sembradora Vence Tudo SA 14600 A, de 6 líneas para granos con masa de 1 300kg.
- Trompo Vicon para aplicación de fertilizante granulado y masa de 130 kg.
- Cosechadora Massey Ferguson, modelo 5680 con masa de 8 060 kg.

## Costos energéticos y de explotación en los conjuntos agrícolas

Para la determinación de los costos energéticos y de explotación se estudiaron los trabajos de varios especialistas y se utilizaron diferentes metodologías, estando entre los autores Burhan *et al.* (2004), Meul *et al.* (2007), Fumagalli, *et al.* (2011), y Mohammadhossein *et al.* (2012). Se utilizó el programa de computación "Costos Energéticos y de Explotación (CEE)" el cual es un sistema automatizado elaborado en el CEMA por de las Cuevas *et al.* (2009), este sistema permitió el análisis de los datos primarios de las observaciones, así como la determinación de los costos mencionados anteriormente.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Caracterización de las investigaciones experimentales

El área experimental se caracteriza por un régimen de precipitación media anual de 1100 mm y temperatura media  $27^\circ\text{C}$

and 256 msnm, relative humidity of 77.3% in the rainy season and 64.1% in the dry season.

### Soil Characteristics, Energy and Operation Indicators

#### Physical-Mechanical Properties of the Soil

Each physical-mechanical characteristic of the soil was analyzed in the two plots studied. The treatment consisting of Conventional System (SC) was applied to plot 1 and Conservation System treatment (direct seeding with cover (SDC)) was applied to plot 2. As a general aspect evaluated in both plots, it is emphasized that datum populations studied for all variables analyzed (moisture, bulk density and resistance to penetration), normally distribute with homogeneous variances, which is the basis of variance analysis for determining the existence of significant differences between population means of each variable and the treatments applied.

#### Moisture

The studied variable was measured for each treatment at two different depths, up to 20 cm and from 20 to 30 cm, yielding 5 samples per depth per plot.

For the Conventional System (SC) treatment it was obtained that the average moisture up to 20 cm depth is 2.52% in a range from 1.04 to 3.55% with a coefficient of variation of 43.42%. In the case of the Conservation System (SDC) an average of 4.26% was obtained in a range from 0.8% to 13.69%, with the Conservation System being more variable with a coefficient of variation of 125.61 % as it is seen in Table 1

As for the analysis of moisture in the depth between 20 and 30 cm, it was obtained, on average, that in the Conventional System it is of 3.64% in a range from 2.63% to 4.62%, with a coefficient of variation of 22.98% and in the Conservation System the average value is of 2.27% with a range from 1,18% to 2,97% being more variable the Conservation System with coefficient of variation of 34, 51%.

y 256 msnm, humedad relativa de 77,3% en la época lluviosa y 64,1% en la época seca.

### Características del suelo, indicadores energéticos y de explotación

#### Características físico mecánicas del suelo

Se procedió a analizar cada una de las características físico mecánicas del suelo en las dos parcelas estudiadas. A la parcela 1 se le aplicó el tratamiento consistente en el Sistema Convencional (SC) y a la parcela 2, el tratamiento Sistema de Conservación (siembra directa con cobertura (SDC)). Como aspecto general evaluado en ambas parcelas se destaca que las poblaciones de datos estudiados para todas las variables analizadas (humedad, densidad aparente y resistencia a la penetración), distribuyen normalmente con varianzas homogéneas lo que fundamenta la realización de un análisis de varianza para la determinación de la existencia de diferencias significativas entre las medias poblacionales de cada variable y los tratamientos aplicados.

#### Humedad

La variable estudiada se midió para cada tratamiento a dos profundidades diferentes, hasta 20 cm y de 20 a 30 cm, obteniéndose por parcela 5 muestras por profundidad.

Para el tratamiento Sistema Convencional (SC) se obtuvo que la humedad media hasta 20 cm de profundidad es de 2,52% en un rango que va desde 1,04 a 3,55% con un coeficiente de variación de 43,42%. En el caso del Sistema de Conservación (SDC) se obtuvo una media de 4,26% en un rango que va desde 0,8% hasta 13,69% siendo más variable el Sistema de Conservación con un coeficiente de variación de 125,61% como se observa en la Tabla 1.

En cuanto al análisis de la humedad en la profundidad entre 20 y 30 cm se obtuvo como promedio que en el Sistema Convencional es de 3,64% en un rango que va desde 2,63% hasta 4,62%, con un coeficiente de variación de 22,98% y en el Sistema de Conservación el valor medio es de 2,27% con un rango que va desde 1,18% y 2,97% siendo más variable el Sistema de Conservación con coeficiente de variación de 34,51%.

TABLE 1. Statistical Summary of Moisture at 20 and 30 cm for Each Treatment  
 TABLA 1. Resumen estadístico de la humedad a 20 y 30 cm para cada tratamiento

Treatment	Moisture 20	Moisture 30	Moisture 20	Moisture 30
	SC	SC	SDC	SDC
Frequency	5	5	5	5
Mean	2,52	5,52	4,26	3,96
Variance	1,19	8,27	28,74	6,87
Standard Deviation	1,09	2,87	5,36	2,6
Minimum	1,04	3,11	0,8	0,72
Maximum	3,55	10,12	13,69	7,48
Coef. of Variation%	43,42	52,09	125,61	66,05

From the previous analysis it was concluded that:

The plot in which the Conservation System treatment was applied has greater variability with respect to mean values of moisture than the plot to which the Conventional System was applied.

Del análisis anterior se concluye que:

Que la parcela en la cual se aplicó el tratamiento Sistema de Conservación posee mayor variabilidad con respecto a los valores medios de la humedad que la parcela a la cual se aplicó el Sistema Convencional.

The average moisture depth between 20 and 30 cm is slightly higher than 0 to 20 cm in the plot to which the Conventional System was applied.

The results obtained in the analysis of variance show that there are no significant differences in moisture at both depths for the two treatments applied since the P-value equal to 0,49 and 0,39, respectively, for all cases are greater than 0,05

### Bulk Density (DA)

The statistical analysis for the two treatments, Conventional (SC) and Conservation (SDC) Systems indicates that the bulk density mean of the plot in which SC was applied is 1.46 g/cm<sup>3</sup> and in the SDC treatment yielded a mean value of 1.54 g/cm<sup>3</sup>. The results of the variance analysis allow determining that bulk density (DA), did not affect the behavior of none of the two systems of seeding, since it is shown that there is no statistically significant difference, according to the P-value of 0.62 that is superior to 0.05. Therefore, it can be affirmed that the selection of the two plots under study guarantees homogeneity with respect to the variable studied. As shown in Table 2 the data taken distribute normally according to the calculated statistics.

La humedad promedio a la profundidad entre 20 y 30 cm es ligeramente mayor que de 0 a 20 cm en la parcela a la cual se aplicó el Sistema Convencional.

Los resultados obtenidos en los análisis de varianza muestran que no hay diferencias significativas de la humedad a ambas profundidades para los dos tratamientos aplicados, dado que el P-valor igual a 0,49 y 0,39 respectivamente para todos los casos son mayores a 0,05.

### Densidad aparente (DA)

El análisis estadístico para los dos tratamientos, Sistemas Convencional (SC) y de Conservación (SDC), indica que el valor medio de la densidad aparente de la parcela en la cual se le aplicó el SC es de 1,46 g/cm<sup>3</sup> y en la que se aplicó el tratamiento SDC se obtuvo un valor medio de 1,54 g/cm<sup>3</sup>. Los resultados del análisis de varianza permiten determinar que la densidad aparente (DA), no afectó el comportamiento de los dos sistemas de siembra, ya que se demuestra que no hay diferencia estadísticamente significativa, según el P- valor de 0,62 que es superior a 0,05. Por lo tanto, se puede afirmar que la selección de las dos parcelas en estudio garantiza homogeneidad respecto a la variable estudiada. Como se muestra en la Tabla 2, los datos tomados distribuyen normalmente según los estadígrafos calculados.

TABLE 2. Statistical Summary of Bulk Density  
TABLA 2. Resumen estadístico de la densidad aparente

Da, g/cm <sup>3</sup>	SC	SDC
Frequency	5	5
Mean	1,462	1,546
Standard Deviation	0,353652	0,0973653
Minimum	1,03	1,42
Maximum	1,83	1,68
Coef. of Variation	24,1896	6,29788

From the analysis it can be concluded that:

Mean bulk density in both treatments is homogeneous.

The mean bulk density of 1.69 and 1.68 g/cm<sup>3</sup> for treatments 1 and 2, respectively, obtained as shown in Table 2, did not cause interference in the application of treatments between plots.

The sandy loam soils of Guanipa table, according to Casanova (1996), have a real bulk density of 1.6 g/cm<sup>3</sup> and according to USDA (1999), a bulk density equal to 1.69 g/cm<sup>3</sup> can affect the crop development.

### Resistance to Penetration

The penetration resistance (RP) was obtained as explained in the methodology. In the statistical processing of the results it was analyzed the existence of significant differences between the means of the RP measured in the depth intervals for each treatment obtaining 25 observations per plot. According to the analysis of variance from the depth of 10 to 30 cm there is no statistically significant difference

Del análisis se puede concluir que:

Que la media de la densidad aparente en ambos tratamientos es homogénea.

La densidad aparente media de 1,69 y 1,68 g/cm<sup>3</sup> respectivamente para los tratamientos 1 y 2 obtenidos como se muestra en la Tabla 2, que no provocan interferencia en la aplicación de los tratamientos entre parcelas.

Los suelos areno franco de la mesa de Guanipa, según Casanova, (1996), tienen una densidad aparente real de 1,6 g/cm<sup>3</sup> y según USDA (1999), afirma que la densidad aparente igual a 1,69 g/cm<sup>3</sup> puede afectar el desarrollo del cultivo.

### Resistencia a la penetración

La resistencia a la penetración (RP) se obtuvo como se explica en la metodología. En el análisis estadístico de los resultados se analizó la existencia de diferencias significativas entre las medias de la RP medida en los intervalos de profundidades para cada tratamiento obteniéndose 25 observaciones por parcela. Según el análisis de varianza desde la profundidad de 10 hasta 30 cm

between the two plots to which Conventional System and Conservation System were applied. The determinations were made with 95% confidence.

Figure 1, shows the behavior of the results obtained in the Conventional System. It is observed that the resistance to penetration increases with the depth at which the measurements were obtained. The behavior is similar in the Conservation System, because at the depth of 25 to 30 cm there is variation: at 25 cm depth it is 4.25 MPa and at 30 cm it is 3.41 MPa as shown in Figure 2.

The analysis of variance performed with the objective of determining if there were differences between the plots to which SC and SDC treatments were applied allowed us to verify that there is no significant difference for the PR measured at depths of 10 to 30 cm between the two treatments. The analysis was performed with 95% confidence, which indicates homogeneity among the plots selected for the study.

no hay diferencia estadísticamente significativa entre las 2 parcelas, a las cuales se les aplicaron los tratamientos de sistema de siembra convencional y el sistema de siembra de conservación. Las determinaciones se hicieron con un 95% de confianza.

En la Figura 1 se muestra el comportamiento de los resultados obtenidos en el Sistema Convencional. Se observa que la resistencia a la penetración aumenta con la profundidad a la que se obtuvieron las mediciones. El comportamiento es similar en el Sistema de Conservación, que a la profundidad de 25 a 30 cm existe variación en cuanto a que en la profundidad de 25 cm es de 4,25 MPa y a 30 cm es de 3,41 MPa como se muestra en la Figura 2.

El análisis de varianza realizado con el objetivo de determinar si existen diferencias entre las parcelas a las cuales se les aplicaron los tratamientos SC y SDC, permitió comprobar que no hay diferencia significativa para la RP medida a las profundidades desde 10 hasta 30 cm entre los dos tratamientos. El análisis se realizó con un 95% de confianza, lo cual indica homogeneidad entre las parcelas seleccionadas para el estudio.

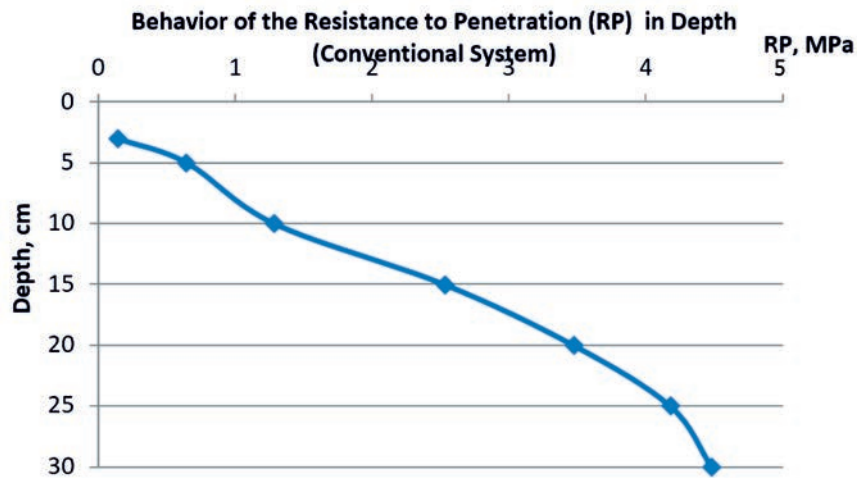


FIGURE 1. Behavior of Depth Penetration Resistance in the Conventional System (RP vs Depth).  
 FIGURA 1. Comportamiento de la resistencia a la penetración en profundidad en el Sistema Convencional (RP vs profundidad).

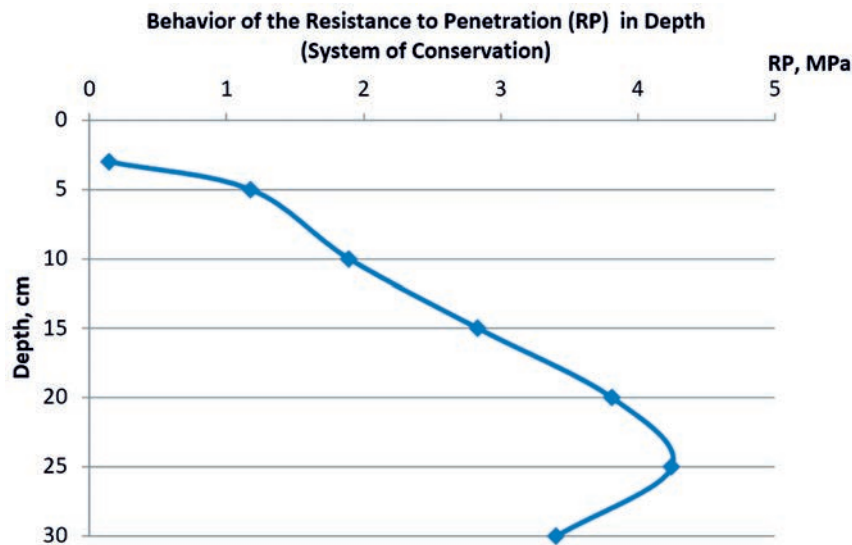


FIGURE 2 Behavior of Depth Penetration Resistance in the Conservation System (RP vs Depth).  
 FIGURA 2 Comportamiento de la resistencia a la penetración en profundidad en el Sistema de Conservación (RP vs profundidad).



The cone index value for the SC treatment is 2.39 MPa while in the SDC treatment it is 2.50 MPa, both obtained at the beginning of the experimentation. This indicates that there is homogeneity in the compaction of both plots by comparing their soil profiles. The above is based on the non-existence of statistically significant differences of the studied variable among the treatments applied.

Tables 3 and 4 show the statistical summary of soil penetration resistance in MPa for each of the depths evaluated for the two treatments applied. As a general behaviour it is observed that the mean values of RP for the treatment of SC in relation to those obtained for the SDC are lower, being in ranges of minimum values between 0.14 and 3.48 MPa and 0.56 and 3, 48 MPa, respectively, there being a lower value in this treatment below 25 cm as a different behaviour. This can be caused by a continuous action of compaction due to the agricultural machinery used; however this value does not interfere in the applied treatments

The maximum RP values behave similar for both treatments, being between 0.98 and 4.85 MPa in SC and 2.24 and 4.85 MPa in SDC, coinciding the end of both treatments.

Likewise, the statistical summary shows that there is no regular behaviour of the coefficient of variation between treatments, since for the depths of 15 and 30 cm it is higher for the SDC treatment, while in the rest of the depths there is greater variability in the SC treatment. In spite of this variability, it does not imply that there is interference of the plot characterization for the application of the treatments. Similar behaviours were obtained in Spain (Hernandez, 1998).

El valor de índice de cono para el tratamiento SC es de 2,39 MPa mientras que en el tratamiento SDC es de 2,50 MPa, ambos obtenidos al comienzo de la experimentación. Ello indica que existe homogeneidad en cuanto a la compactación de ambas parcelas comparando sus perfiles de suelo. Lo anterior se sustenta en la no existencia de diferencias estadísticamente significativas de la variable estudiada entre los tratamientos aplicados.

Las Tablas 3 y 4 muestran el resumen estadístico del comportamiento de la resistencia a la penetración del suelo en MPa por cada una de las profundidades evaluadas para los dos tratamientos aplicados. Como comportamiento general se observa que los valores medios de RP para el tratamiento de SC con respecto a los obtenidos para el SDC, son menores, hallándose en rangos de valores mínimos entre 0,14 a 3,48 MPa y 0,56 a 3,48 MPa respectivamente, existiendo un valor menor en este tratamiento por debajo de los 25 cm como comportamiento diferente. Este puede ser provocado por una acción continua de compactación de la maquinaria agrícola empleada, sin embargo este valor no interfiere en los tratamientos aplicados

Los valores máximos de RP se comportan similares para ambos tratamientos estando entre 0,98 y 4,85 MPa en SC y 2,24 a 4,85 MPa en SDC coincidiendo el extremo de ambos tratamientos.

Así mismo el resumen estadístico muestra que no existe un comportamiento regular del coeficiente de variación entre los tratamientos ya que para las profundidades de 15 y 30 cm es mayor para el tratamiento SDC mientras que en el resto de las profundidades hay mayor variabilidad en el tratamiento SC. A pesar de esta variabilidad no implica que exista interferencia de la caracterización de la parcela para la aplicación de los tratamientos. Comportamientos similares fueron obtenidos en España (Hernández, 1998).

**TABLE 3. Statistical Summary of the Penetration Resistance (RP), MPa. SC Treatment**  
**TABLA 3. Resumen estadístico de la resistencia a la penetración (RP), MPa. Tratamiento SC**

Sample	1	2	3	4	5	6
Frequency	5	5	5	5	5	5
Mean	0,644	1,284	2,534	3,474	4,18	4,48
Standard Deviation	0,460087	0,727516	0,142232	0,609943	0,582409	0,401061
Minimum	0,14	0,14	2,33	2,67	3,17	3,84
Maximum	0,98	1,82	2,67	4,35	4,68	4,85
Coef. of Variation	71,4421	56,6601	5,61295	17,5574	13,9332	8,95226

Sample 1: Depth 5 cm SC, Sample 2: Depth 10 cm SC, Sample 3: Depth 15 cm SC, Sample 4: Depth 20 cm SC, Sample 5: Depth 25 cm SC, Sample 6: Depth 30 cm SC

**TABLE 4. Statistical Summary of the Resistance to Penetration (RP), Mpa. Treatment SDC**  
**TABLA 4. Resumen estadístico de la resistencia a la penetración (RP), MPa. Tratamiento SDC**

Sample	1	2	3	4	5	6
Frequency	5	5	5	5	5	5
Mean	1,17	1,892	2,836	3,81	4,246	3,404
Standard Deviation	0,707884	0,702403	0,580241	0,524166	0,349399	1,87215
Minimum	0,56	0,98	2,33	3,17	3,84	0,14
Maximum	2,24	2,67	3,84	4,35	4,68	4,85
Coef. of Variation	60,5029	37,1249	20,4598	13,7576	8,22891	54,9984

Sample 1: Depth 5 cm SDC, Sample 2: Depth 10 cm SDC, Sample 3: Depth 15 cm SDC, Sample 4: Depth 20 cm SDC, Sample 5: Depth 25 cm SDC, Sample 6: Depth 30 cm SDC

From the statistical analysis of the results obtained it was concluded that:

The mechanical-physical characteristics of the soils in the plots tested do not interfere in the application of SC and SDC treatment.

Del análisis estadístico de los resultados obtenidos se puede concluir que:

Las características físico mecánicas del suelos de las parcelas ensayadas no interfieren en la aplicación de los tratamiento SC y SDC.

### Energy Cost and Operating Expenses

#### Energy cost

In the analysis of variance of energy cost behavior, the main objective of this study, according to the F test, significant differences were detected between the treatments of the two tillage and seeding systems under study ( $P < 0.000$ ). The coefficient of variation was 0.005%, indicating an optimum experimental precision. The comparisons between the means are shown in the graph of Figure 3.

### Costo energético y gastos de explotación

#### Costo energético

En los análisis de varianza del comportamiento del costo energético, principal objetivo de este trabajo, de acuerdo con la prueba F, se detectaron diferencias significativas entre los tratamientos de los dos sistemas de labranza y siembra en estudio ( $P < 0,000$ ). El coeficiente de variación fue 0,005%, indicando una óptima precisión experimental. Las comparaciones entre las medias se muestran en el gráfico de la Figura 3.

## Energy Cost

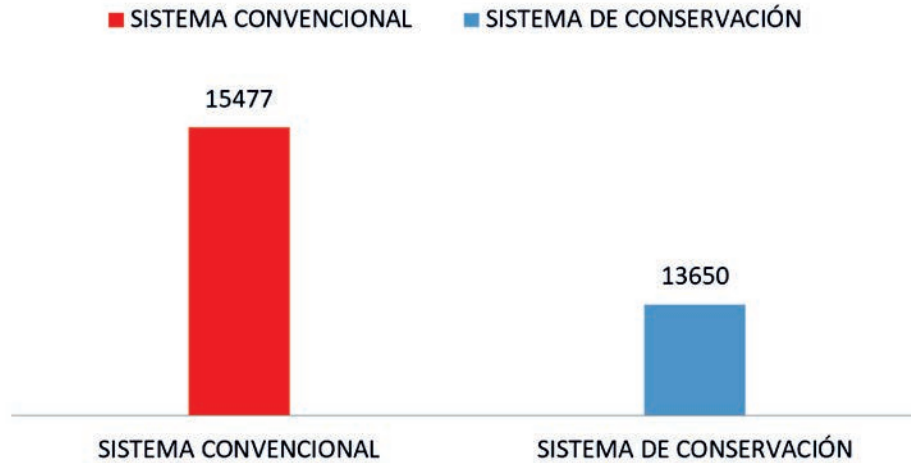


FIGURE 3. Average Values of Energy Cost ( $\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) of the Conventional and Conservation Systems for Corn  
 FIGURA 3. Valores medios del costo energético ( $\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) de los Sistemas Convencional y de Conservación para el maíz.

According to the analysis of variance with a confidence level of 95%, it can be seen that the energy costs of both systems differ from one another. The Conservation System has an energy cost lower than the cost of the Conventional System. The results of energy cost of the two systems under study are shown in Table 5.

De acuerdo con el análisis de varianza con un nivel de confianza del 95%, se aprecia que los costos energéticos de ambos sistemas, difieren uno del otro.

El Sistema de Conservación tiene un costo energético menor al costo del Sistema Convencional, Los resultados del costo energético de los dos sistemas en estudio se aprecian en la Tabla 5.

TABLE 5. Energy Cost ( $\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) of the Conventional and Conservation Systems for Corn  
 TABLA 5. Costo energético ( $\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) de los Sistemas Convencional y de Conservación para el maíz

Operations	Conventional System	Conservation System
Harrowing	4 440,00	-
Seeding	944,00	944,00
Spraying	8 656,00	11 269,00
Farming	1 273,00	1 273,00
Harvesting	164,00	164,00
Total	15 477,00	13 650,00
Percentage of the Total	100	88,19

Total energy costs of the Conventional System were higher. The Conservation System results in a total energy cost of  $13\ 650.00\ \text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ , corresponding to 88.19% of the cost of the Conventional System, saving  $1\ 827.00\ \text{MJ}\ \text{ha}^{-1}$ . Energy corresponding to the fuel used amounted to  $6\ 560.26\ \text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$  for the Conventional System and  $1\ 381.43\ \text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$  for the Conservation System, which equals  $137.24\ \text{L}\cdot\text{ha}^{-1}$

Los costos energéticos totales del Sistema Convencional fueron mayores. El Sistema de Conservación ocasiona un costo energético total de  $13\ 650,00\ \text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ , que corresponde al 88,19% del costo del Sistema Convencional, ahorrando  $1\ 827,00\ \text{MJ}\ \text{ha}^{-1}$ . La energía correspondiente al combustible utilizado ascendió a  $6\ 560,26\ \text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$  para el Sistema Convencional y a  $1\ 381,43\ \text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$  para el Sistema de Conservación, que equivalen a  $137,24$

and 28,9 L·ha<sup>-1</sup>, respectively. Conservation System saves 108 L of diesel fuel for each hectare worked, equivalent to 21% of fuel savings. The results obtained coincide with that reported by Hetz (1998), Stout (1990) and ASAE (1993). In cultural work (irrigation, weeding and fertilization) there were no significant differences in energy costs. The energy cost in both systems was similar. According to the results obtained, the highest energy costs corresponded to the spraying work in the Conservation System (11 269.00 MJ·ha<sup>-1</sup>), which coincides with the results indicated by Paneque *et al.* (2002) and those reported by Paneque and Soto (2007). This is due to the fact that primary tasks were not performed (harrowing pass) in this system. The technology used in the Conservation System meant a saving of labor, by spending less time (4 h·ha<sup>-1</sup>) of use of the machinery and an increase in the efficiency of it.

### Operating Expenses

The total expenses of the work carried out were lower in the Conservation System than in the Conventional System. A difference of 444.18 Bs·ha<sup>-1</sup> was recorded. The lowest total expenses of the Conservation System is due to the decrease in soil preparation (Table 6).

The results agree with those established by Collins *et al.* (1981), Frisby and Summers (1979), Hetz (1998), Summers *et al.* (1986) and Dos Reis (2000). These authors point out that the difference derives mainly from the amount of soil removed and the friction that occurs with each one of the tillage implements. In the Conservation System one operation less was performed (harrow pass) compared to the Conventional System, which meant 76% savings in total expenses and 44% savings in working time.

L·ha<sup>-1</sup> y 28,9 L·ha<sup>-1</sup> respectivamente, en este último sistema se ahorran 108 L de combustible gasoil por cada ha trabajada, equivalentes al 21% de ahorro de combustible. Los resultados obtenidos coinciden con lo señalado por Hetz (1998), Stout (1990), y ASAE (1993). En las labores culturales (riegos, deshierbes y fertilización) no existieron diferencias significativas de costos energéticos. El costo energético en ambos sistemas resultó semejante. De acuerdo con los resultados obtenidos, los mayores costos energéticos correspondieron a la labor de pulverización en el Sistema de Conservación (11 269,00 MJ·ha<sup>-1</sup>), lo cual coincide con los resultados señalados por Paneque *et al.* (2002), y a los reportados por Paneque y Soto (2007). Esto es debido a que no se realizaron labores primarias (pase de rastra) en este sistema.

La tecnología empleada en el Sistema de Conservación significó un ahorro de mano de obra, al invertir menos tiempo (4 h·ha<sup>-1</sup>) de utilización de la maquinaria y un incremento en la eficiencia de la misma.

### Gastos de explotación

Los gastos totales de las labores realizadas, fueron más bajos en el Sistema de Conservación que en el Sistema Conventional. Se contabilizó una diferencia de 444,18 Bs·ha<sup>-1</sup>. El menor gasto total del Sistema de Conservación, es debido a la disminución de la preparación del suelo (Tabla 6).

Los resultados concuerdan con lo establecido por Collins *et al.* (1981), Frisby y Summers (1979), Hetz (1998), Summers *et al.* (1986), y Dos Reis (2000). Dichos autores señalan que la diferencia se origina principalmente en la cantidad de suelo removido y el roce que se produce con cada uno de los implementos de labranza. En el Sistema de Conservación se realizó una operación menos (pase de rastra) en comparación con el Sistema Conventional, lo cual significó el 76% de ahorro en los gastos totales y 44% de ahorro en tiempo de trabajo.

**TABLE 6. Operating Costs (Bs·ha<sup>-1</sup>) of the Conventional and Conservation Systems for Corn**  
**TABLA 6.. Gastos de explotación (Bs·ha<sup>-1</sup>) de los Sistemas Convencional y de Conservación para el maíz**

Operations	Conventional System	Conservation System
Harrowing	222,83	-
Seeding	805,73	805,73
Spraying	587,10	587,10
Farming	195,94	196,65
Harvesting	200,00	200,00
Total	2 011,60	1 789,48
Percentage of the Total	100	89

The costs (Bs) of the two corn systems are shown in Table 7, and direct costs are lower in the Conservation System 94% than in the Conventional System.

En la Tabla 7 se muestran los costos (Bs) de los dos sistemas para el maíz, apreciándose también que los costos directos son menores en el Sistema de Conservación 94% con respecto al Sistema Convencional.

**TABLE 7. Costs (Bs) of Conventional and Conservation Systems for Corn**  
**TABLA 7. Costos (Bs) de los Sistemas Convencional y de Conservación para maíz**

Operations	Conventional System	Conservation System
Land preparation	3 612,76	-
Seeding	1 748,25	1 748,25

Operations	Conventional System	Conservation System
Fertilization	16 484,04	16 484,04
Weed Control	3 736,03	3 736,03
Drainage	1 500,00	1 500,00
Monitoring	300,00	300,00
Pest Management	3 978,02	3 978,02
Biological Control	2 048,29	2 048,29
Disease Control	1 096,22	1 096,22
Foliar Fertilizer		
Adherents	110,00	110,00
Field cleaning	2 800,00	2 800,00
Harvest	22 780,00	22 780,00
Total Direct Costs	61 109.10	57 496.34
Percentage of the Total	100	94

In addition to this, the innumerable benefits inherent to the Conservation System can be summed up as less degradation of soils and the environment (Unger & Mccalla, 1980): FAO-INTA, 1992). In this sense Derpsch *et al.* (1986) argue that “direct seeding” can represent a 64-74% reduction in fuel oil consumption, that this system is a guarantee for sustainable, low-cost and perennial agriculture. With the development already achieved in direct seeding, it can be seen that Brazil already has technologies to subsidize other tropical and subtropical regions around the world.

## CONCLUSIONS

- The results obtained in the analysis of variance show that there are no significant differences in moisture at both depths for the two treatments applied since the P-value equal to 0.49 and 0.39, respectively, for all cases are greater than 0,05
- The mean bulk density obtained of 1.69 and 1.68 g/cm<sup>3</sup> for treatments 1 and 2, respectively, does not cause interference in the application of treatments between plots.
- There is no statistically significant difference for resistance to penetration between both plots since all P values are higher than 0.05 according to the analysis of variance, from the depth of 10 to 30 cm, with 95% confidence in the applied treatments.
- The system that consumed less fuel was Conservation, with mean value of 28.9 L•ha<sup>-1</sup>, compared to the Conventional System, whose mean value 137.24 L•ha<sup>-1</sup>.
- The technology used in the Conservation System meant a saving of labor for consuming less time (4 h•ha<sup>-1</sup>) of use of the machinery, an increase in its efficiency and a lower total energy costs, which represented 89% of the Conventional

A todo esto deben sumarse los innumerables beneficios inherentes al Sistema de Conservación, los que pueden resumirse en una menor degradación de los suelos y del medio ambiente (Unger y Mccalla, 1980; FAO, 1992). En este sentido Derpsch *et al.* (1986), plantean que “la siembra directa” puede representar una reducción entre 64 y 74% del consumo de combustible gasoil, que este sistema es una garantía para una agricultura sustentable, de bajo costo y perenne. Con el desenvolvimiento ya conseguido en la siembra directa, se observa que Brasil ya tiene tecnologías para dar subsidio a otras regiones tropicales y subtropicales de todo el mundo”.

## CONCLUSIONES

- Los resultados obtenidos en los análisis de varianza muestran que no hay diferencias significativas de la humedad a ambas profundidades para los dos tratamientos aplicados, dado que el P-valor igual a 0,49 y 0,39 respectivamente, para todos los casos son mayores a 0,05
- La densidad aparente media es de 1,69 y 1,68 g/cm<sup>3</sup> respectivamente, para los tratamientos 1 y 2 obtenidos no provocan interferencia en la aplicación de los tratamientos entre parcelas.
- Entre ambas parcelas para la resistencia a la penetración no hay diferencia estadísticamente significativa ya que todos los p valor son superiores a 0,05 según el análisis de varianza, desde la profundidad de 10 a 30 cm, con un 95% de confiabilidad en los tratamientos aplicados.
- El Sistema que menos combustible consumió fue el de Conservación, con un valor medio de 28,9 L•ha<sup>-1</sup>, con respecto al Sistema Convencional, cuyo valor medio fue de 137,24 L•ha<sup>-1</sup>.
- La tecnología empleada en el Sistema de Conservación significó un ahorro de mano de obra, al invertir menos tiempo (4 h•ha<sup>-1</sup>) de utilización de la maquinaria, un incremento en la eficiencia de la misma y un menor gasto energético total, que representó



System, saving 3 400.40 MJ ha<sup>-1</sup>, making it possible to save 108 L•ha<sup>-1</sup> of fuel.

un 89% respecto al Sistema Convencional, ahorrando 3 400,40 MJ ha<sup>-1</sup> por lo que es factible ahorrar 108 L•ha<sup>-1</sup> de gasoil.

## REFERENCES / REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARVIDSSON, J.; HÅKANSSON, I.: "Response of different crops to soil compaction—Short-term effects in Swedish field experiments", *Soil and Tillage Research*, 138: 56-63, 2014, ISSN: 0167-1987, DOI: 10.1016/j.still.2013.12.006.
- ASAE: *Agricultural engineers yearbook of standards*, [en línea], Ed. American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, USA, 1993, Disponible en: <https://catalog.hathitrust.org/Record/009533406>, [Consulta: 29 de septiembre de 2016].
- BURHAN, O.; KURKLU, A.; AKCAOZ, H.: "An input–output energy analysis in greenhouse vegetable production: a case study for Antalya region of Turkey", *Biomass and Bioenergy*, 26(1): 89-95, 2004, ISSN: 0961-9534, DOI: 10.1016/S0961-9534(03)00080-1.
- CASANOVA, O.E.F.: *Introducción a la ciencia del suelo*, Ed. Universidad Central de Venezuela, Facultad de Agronomía, Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico, Caracas, 379 p., 1996, ISBN: 978-980-00-0484-5.
- COLLINS, N.E.; WILLIAMS, T.H.; KEMBLE, L.J.: "Measured machine energy requirements for grain production systems", *ASAE Publ.*, 4-81, 1981, Disponible en: <https://www.osti.gov/scitech/biblio/6511154>, [Consulta: 23 de junio de 2016].
- DE LAS CUEVAS, M.H.R.; RODRÍGUEZ, H.T.; PANEQUE, P.; DÍAZ, Á.M.: "Costo energético del rodillo de cuchillas CEMA 1400 para cobertura vegetal", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 20(3): 53-56, 2011, ISSN: 2071-0054.
- DE LAS CUEVAS, M.H.R.; RODRÍGUEZ, H.T.; PANEQUE, R.P.; HERRERA, P.M.I.: "Software para la determinación de los costos energéticos y de explotación de las máquinas agrícolas", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 18(2): 78-84, 2009, ISSN: 2071-0054.
- DERPSCH, R.; SIDIRAS, N.; ROTH, C.H.: "Results of studies made from 1977 to 1984 to control erosion by cover crops and no-tillage techniques in Paraná, Brazil", *Soil and Tillage Research*, ser. Reduced Tillage - Rational Use in Sustained Production, III, 8: 253-263, 1986, ISSN: 0167-1987, DOI: 10.1016/0167-1987(86)90338-7.
- DOS REIS, E.F.: *Inter-relação solo-semente com duas semeadoras-adubadoras de plantio direto, em diferentes umidades de um solo argiloso*, Universidade Federal de Viçosa, Mestrado em Engenharia Agrícola, Viçosa, MG, Brasil, 51 p., 2000.
- FAO: *Manual de sistemas de labranza para América Latina*, [en línea], ser. Boletín de Suelos de la FAO, no. ser. 66, Ed. FAO, Roma, Italia, 193 p., Google-Books-ID: bpHSafz3Ma0C, 1992, ISBN: 978-92-5-303253-2, Disponible en: [https://books.google.com/cu/books/about/Manual\\_de\\_sistemas\\_de\\_labranza\\_para\\_Am%C3%A9rica\\_Latina.html?id=bpHSafz3Ma0C&redir\\_esc=y](https://books.google.com/cu/books/about/Manual_de_sistemas_de_labranza_para_Am%C3%A9rica_Latina.html?id=bpHSafz3Ma0C&redir_esc=y), [Consulta: 23 de junio de 2016].
- FLUCK, R.C.: *Energy in farm production*, [en línea], Ed. Elsevier, Amsterdam, 367 p., 1992, ISBN: 978-0-444-88681-1, Disponible en: <https://www.elsevier.com/books/energy-in-farm-production/fluck/978-0-444-88681-1>, [Consulta: 23 de junio de 2016].
- FLUCK, R.C.; BAIRD, C.D.: *Agricultural energetics*, Ed. AVI Pub. Co., 192 p., Google-Books-ID: aXFRAAAAMAAJ, 1980, ISBN: 978-0-87055-346-2.
- FRISBY, J.C.; SUMMERS, J.D.: "Energy-Related Data for Selected Implements", *Transactions of the ASAE*, 22(5): 1010-1011, 1979, ISSN: 2151-0059, DOI: 10.13031/2013.35145.
- FUMAGALLI, M.; ACUTIS, M.; MAZZETTO, F.; VIDOTTO, F.; SALI, G.; BECHINI, L.: "An analysis of agricultural sustainability of cropping systems in arable and dairy farms in an intensively cultivated plain", *European Journal of Agronomy*, 34(2): 71-82, 2011, ISSN: 1161-0301, DOI: 10.1016/j.eja.2010.11.001.
- HERNÁNDEZ, A.P.M.: *Análisis del patinamiento en tractores de simple tracción a través de las teorías de predicción de tracción de ASAE y su contraste experimental*, [en línea], Universidad Politécnica de Madrid, Tesis de Doctorado, Madrid, España, 1998, Disponible en: <https://serviciosgate.upm.es/tesis/tesis/2893>, [Consulta: 23 de junio de 2016].
- HETZ, E.J.: "Energy utilization in fruit production in Chile", *Agricultural Mechanization in Asia Africa and Latin America*, 29(2): 17–20, 1998, ISSN: 0084-5841.
- LÓPEZ, J.D.; VÁZQUEZ, C.; SALAZAR, E.; ZÚÑIGA, R.; TREJO, H.I.: "Sistemas de labranza y fertilización en la producción de maíz forrajero", *Phyton*, 79(1): 47-54, 2010, ISSN: 1851-5657.
- MEUL, M.; NEVENS, F.; REHEUL, D.; HOFMAN, G.: "Energy use efficiency of specialised dairy, arable and pig farms in Flanders", *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 119(1): 135-144, 2007, ISSN: 0167-8809, DOI: 10.1016/j.agee.2006.07.002.
- MOHAMMADHOSSEIN, R.; WAISMORADI, A.; HOSHANG, R.: "Energy Efficiency of Different Tillage Systems in Forage Corn Production", *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 4: 1644–1652, 2012, ISSN: 2227-670X.
- OFICINA NACIONAL DE NORMALIZACIÓN: *Geotecnia. Determinación del contenido de humedad de los suelos y rocas en el laboratorio*, no. NC 67:00, Sust. a las NC 54-236:83 y NC 54-353:86, 2000.
- PANEQUE, P.; MARRERO, E.; DE LAS CUEVAS, H.: "Determinación de la fuente energética para las labores mecanizadas de los cítricos", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 7(3): 25–32, 1998, ISSN: 2071-0054.
- PANEQUE, R.P.; FERNANDES, H.C.; DONIZETTE, de O.A.: "Comparación de cuatro sistemas de labranza/siembra en relación con su costo energético", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 11(2): 1–6, 2002, ISSN: 2071-0054.
- PANEQUE, R.P.; SOTO, L.D.: "Costo energético de las labores de preparación de suelo en Cuba", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 16(4): 17–21, 2007, ISSN: 2071-0054.
- PICK, E.: *Energy consumption and input-output relations of field operations*, [en línea], ser. CNRE study, no. ser. 3, Ed. FAO, Rome, 118 p., 1989, Disponible en: [https://books.google.com/cu/books/about/Energy\\_Consumption\\_and\\_Input\\_output\\_Rel.html?id=\\_ZcnGwAAAJ&redir\\_esc=y](https://books.google.com/cu/books/about/Energy_Consumption_and_Input_output_Rel.html?id=_ZcnGwAAAJ&redir_esc=y), [Consulta: 23 de junio de 2016].
- STOUT, B.A.: *Handbook of energy for world agriculture*, Ed. Elsevier Science Publishers, London, 504 p., 1990, ISBN: 978-1-85166-349-1.

SUMMERS, J.D.; KHALILIAN, A.; BATCHELDER, D.G.: "Draft Relationships for Primary Tillage in Oklahoma Soils", *Transactions of the ASAE*, 29(1): 37-39, 1986, ISSN: 2151-0059, DOI: 10.13031/2013.30097.

UNGER, P.W.; MCCALLA, T.M.: "Conservation Tillage Systems", *Advances in Agronomy*, 33: 1-58, 1980, ISSN: 0065-2113, DOI: 10.1016/S0065-2113(08)60163-7.

USDA (DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA DE LOS ESTADOS UNIDOS): *Guía para la Evaluación de la Calidad y Salud del Suelo*, [en línea], Ed. USDA, USA, 82 p., 1999, Disponible en: [https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE\\_DOCUMENTS/stelprdb1044786.pdf](https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/stelprdb1044786.pdf), [Consulta: 23 de junio de 2016].

**Received:** 30/10/2016.

**Approved:** 15/06/2017.

*Pedro Paneque Rondón*, Profesor Titular, Universidad Agraria de La Habana, Facultad de Ciencias Técnicas, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba. E-mail: [paneque@unah.edu.cu](mailto:paneque@unah.edu.cu)

*Wolfgang Jiménez*, E-mail: [videofoca@gmail.com](mailto:videofoca@gmail.com)

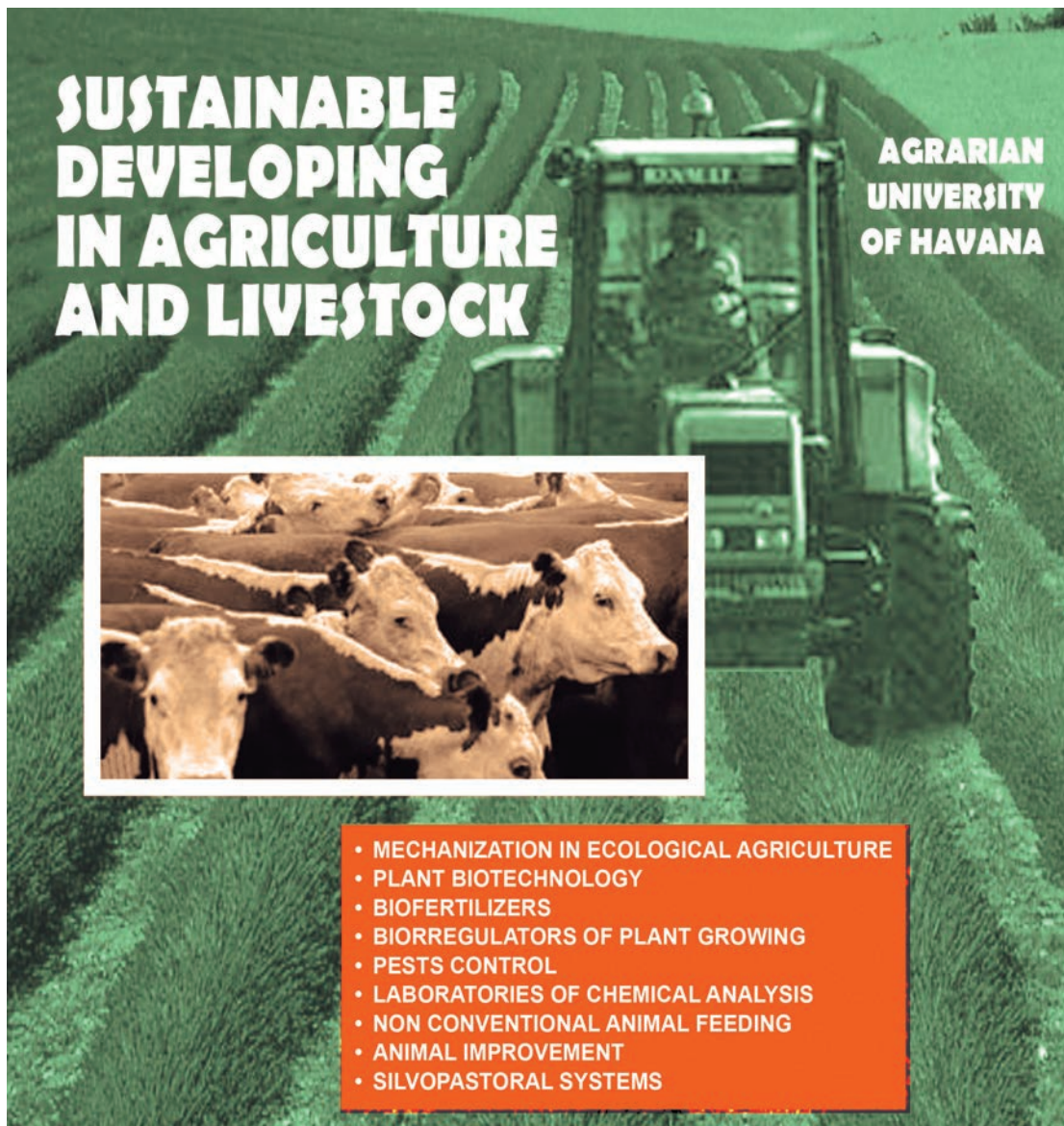
*Pablo Hernández-Alfonso*, E-mail: [phernand@unah.edu.cu](mailto:phernand@unah.edu.cu)

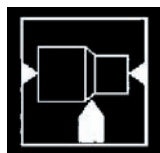
*María Victoria Gómez-Águila*, E-mail: [mvaguila@hotmail.com](mailto:mvaguila@hotmail.com).

*Héctor R. De las Cuevas-Milán*, E-mail: [hector@unah.edu.cu](mailto:hector@unah.edu.cu)

*Alexander Miranda Caballero*, E-mail: [alex@inca.edu.cu](mailto:alex@inca.edu.cu)

Note: the mention of commercial equipment marks, instruments or specific materials obeys identification purposes, there is not any promotional commitment related to them, neither for the authors nor for the editor.





# Characterization of Thermo-Fixed Polymer Matrix Composite Reinforced with Cuban Zeolite Particles

## *Caracterización de material compuesto de matriz polimérica termofija reforzado con partículas de zeolita cubana*

M.Sc. Yosvani Guerra-Silva<sup>I</sup>, Dr. José Luis Valin-Rivera<sup>II</sup>, M.Sc. María Elena Fernández-Abreu<sup>III</sup>,  
M.Sc. Francisco Jesús Mondelo-García<sup>III</sup>, M.Sc. Daniel Díaz-Batista<sup>III</sup>, Dr. Hélio-Wiebeck<sup>IV</sup>,  
M.Sc. Henry Figueredo-Losada<sup>V</sup> y Dr. Alexander Alfonso-Alvarez<sup>V</sup>

<sup>I</sup> Empresa Cubana de Aeropuertos y Servicios Aeronáuticos S.A. Dirección Técnica. Rancho Boyeros, La Habana, Cuba.

<sup>II</sup> Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Escuela de Ingeniería Mecánica, Chile. Quilpué, Valparaíso, Chile.

<sup>III</sup> Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, Facultad de Ingeniería Mecánica, Marianao, La Habana, Cuba.

<sup>IV</sup> Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais São Paulo/SP, Brasil.

<sup>V</sup> Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, Departamento de Engenharia Mecatrônica e de Sistemas Mecânicos, São Paulo - SP – Brasil.

**ABSTRACT.** The present work is about the characterization of composite materials with thermoset polymeric matrix, orthophthalic polyester type and reinforcement with Cuban zeolite particles from San Andres, Holguin. Authors used different methods like sifted, scanning electron microscope (SEM) and X-rays diffraction, thermal analysis and cation exchange volumetric methods to analyze zeolite particles. The composite material was analyzed, with the use of test-tube, by mechanical test (hardness, traction, impact).

**Keywords:** sifter, scanning electron microscope (SEM), X-rays diffraction, thermal analyzer, cation-exchange capacity

**RESUMEN.** El presente trabajo, trata sobre la caracterización varios materiales compuestos con matriz polimérica termofija, del tipo poliéster ortoftálico y refuerzo con partículas de zeolita en proporciones de 3, 5, 7 y 10 porciento. La zeolita es de origen cubano, procedente de San Andrés en Holguín. Las partículas de zeolita fueron caracterizadas con métodos de tamizado, microscopía electrónica de barrido (MEB), difracción de rayos X, analizador térmico y volumétrico. Al material compuesto se le realizaron ensayos de dureza, tracción e impacto, obteniéndose así los valores límites para cada tipo de material. El aumento del porciento de zeolita aumentó la resistencia a la tracción y disminuyó la resistencia al impacto. La dureza se mantuvo similar para cada material. La microscopía electrónica de barrido mostró características que propician la adherencia entre el polímero y la zeolita.

**Palabras clave:** tamizado, microscopía electrónica de barrido, analizador térmico, capacidad e intercambio catiónico.

## INTRODUCTION

In recent years, there has been a development in research and application of composite materials reinforced with natural clays such as zeolite, bentonite and kaolin, among others. These materials, used as reinforcement, are being studied to

## INTRODUCCIÓN

En los últimos años, ha habido un desarrollo en la investigación y aplicación de los materiales compuestos reforzados con arcillas naturales; como la zeolita, bentonita, caolín, entre otros. Estos materiales, usados como refuerzo, están siendo estudiados



replace, partially or entirely, synthetics in some applications of thermoset polymer matrix, since they have a high ratio of aspect as well as large surface area for the interaction of the clay mineral layer with the polymer molecules (Sharma, *et al.*, 2017). Loads on them should be low, because they have lower mechanical resistance. Clays improve high thermal stability and hardness, but with the disadvantage of the decrease in the resistance to impacts (CGEE, 2010). Also, they are used in various socio-economic activities as building materials such as cements, in metallurgical industry, in refractory-ceramic, in processes for ink, drugs (transport of medical substances), antitoxic, soil improvers, cleanses, purify or treat water drugs, phytosanitary, even in nanotechnology (García, *et al.*, 2014a,b).

The use of natural clays, such as zeolite, as a substitute for synthetic materials, is mainly because they are not toxic or harmful to health, have low density and are biodegradable. Besides, they present low energy consumption in the production process, have strong adhesive bond to some matrixes and produce residuals of low toxicity to the environment (Bergaya, 2013). In addition, they are used in the packaging industry because they are drying material (Kajtár, *et al.*, 2016), even with aseptic properties (Sánchez, *et al.*, 2017).

The use of powder particles, with properties similar to zeolite, in composite materials of orthophthalic unsaturated polyester resin, to repair composites in aeronautics, has achieved an increased in stiffness and surface hardness in areas including fixing holes, such as rivets and screws (Campbell, 2006). When adding a mixture of 10% zeolite in air-cured PORTLAND Type I cement, there was a 30% increase in uniaxial compression strength compared to pure cement (Vélez y Perugachi, 2012). Clay reinforcement's composites have the property of absorbing water, so their use in agriculture would be beneficial to avoid high water consumption. Recently, Sukenik *et al.* (2017) demonstrated that a clay reinforced composite removed cyanobacteria and cyanotoxins from lakes. This extends the use of this type of material in agriculture, for example, fish farming and irrigation of plantations.

The modification of superficial properties of zeolite with cationic surfactants, to improve the ability to slurp organic molecules, as chlorinated solvents, fuel components, ionizable organic solutes (analogs of benzene, aniline and phenol), has shown that the cation exchange capacity (CEC), could influence in the electrostatic bonding of zeolite particles with a polymeric matrix (Alshameri, *et al.*, 2014).

Although there are zeolite deposits in Cuba throughout the island and its reserves are estimated in millions of metric tons, there is no information on its use as reinforcement in thermoset matrix composites materials. Therefore, it is essential to determine the mechanical properties, such as impact strength, tensile, etc., of a composite material with that type of matrix, in function of zeolite percentage as reinforcement, to determine its feasibility in certain applications.

Materials will be characterized through impact, hardness and tensile tests, as well as by scanning electron microscopy analysis (SEM) of several thermoset polymeric matrix composite materials reinforced with cubic zeolite particles. The

para sustituir parcialmente y/o en su totalidad a los sintéticos en algunas aplicaciones de matriz termoestable, debido a que presentan una alta relación de aspecto y gran área de superficie para la interacción de la capa mineral de la arcilla con las moléculas de los polímeros (Sharma *et al.*, 2017). En estos materiales, las cargas actuantes deben ser bajas, porque tienen menor resistencia mecánica. Las arcillas, aportan alta estabilidad térmica y dureza, pero con la desventaja de la disminución de su resistencia al impacto (CGEE, 2010). También son usadas en la producción de diversos materiales, tales como: cementos, bloques refractarios-cerámicos, tintas, fármacos (transporte de sustancias médicas), antitóxicos, detergentes y para el desarrollo de diferentes procesos como por ejemplo: la purificación y tratamiento de agua, así como el mejoramiento de los suelos (Mondelo-García *et al.*, 2014a,b).

El empleo de las arcillas naturales, como la zeolita, en sustitución de materiales sintéticos, se basa principalmente en que no son tóxicas ni perjudiciales a la salud, tienen baja densidad, son biodegradables, presentan un bajo consumo de energía en el proceso de obtención, tienen buena adhesión en algunas matrices, producen residuos de baja toxicidad al medio ambiente (Bergaya, 2013). También, son usados en la industria de embalaje por ser un material secante (Kajtár *et al.*, 2017), incluso, con propiedades asépticas (Sánchez *et al.*, 2017).

El uso de partículas de talco, con propiedades similares a la zeolita, en materiales compuestos de resina de poliéster insaturado ortoftálico, para reparaciones de compuestos en la aeronáutica, ha logrado conseguir un aumento de la rigidez y dureza superficial en zonas que incluyen agujeros de fijación, como remaches y tornillos (Campbell, 2006). Al adicionar una mezcla de 10% de zeolita en un cemento PORTLAND Tipo I, curado al aire, se tuvo un aumento del 30% en la resistencia a la compresión uniaxial, en comparación con el cemento puro (Vélez y Perugachi, 2012). Los compuestos con refuerzos de arcilla tienen la propiedad de absorber agua, por lo que su uso en la agricultura sería beneficioso para el evitar altos consumos de agua. Recientemente, se demostró que un compuesto con refuerzo de arcillas eliminó cianobacterias y cianotoxinas en lagos (Sukenik *et al.*, 2017) Esto amplía el uso de este tipo de material en la agricultura, como por ejemplo, cultivo de peces y el riego de plantaciones.

La modificación de las propiedades superficiales de la zeolita con surfactantes catiónicos, los que dan la capacidad de poder sorber moléculas orgánicas; como solventes clorados, componentes de combustibles, solutos orgánicos ionizables (análogos del benceno, anilina y fenol), ha mostrado, que la capacidad de intercambio catiónico (CIC), pudieran influir en lograr una unión electrostática de las partículas de zeolita con una matriz polimérica (Alshameri *et al.*, 2014).

Aunque los yacimientos de zeolita en Cuba se encuentran a lo largo de toda la isla y sus reservas se calculan en millones de toneladas, no existe información sobre su uso como refuerzo en materiales compuestos con matriz termoestable. Por lo que se hace indispensable, determinar las propiedades (composición, resistencia al impacto, tracción) de un material compuesto con ese tipo de matriz, en función del porcentaje de zeolita, que pudiera determinar su factibilidad para determinadas aplicaciones. Por tanto, se caracterizarán los materiales a través de ensayos de impacto,



reinforcement has 3, 5, 7 and 10% of zeolite particles, in order to contribute to knowledge of this type of material, which has low energy consumption in the manufacturing process and is reinforced with natural zeolite.

This characterization brings theoretical-practical results of a material that is not harmful neither to the environment, nor to human beings, and allows recycling, as part of its life cycle. That provides the possibilities of its introduction and implementation in the industry.

Once the materials were manufactured and tests were carried out, it was possible to obtain the values of tensile and impact strength and hardness of the different composites, as well as the characterization of the clinoptilolite zeolite from San Andrés in Holguín.

## METHODS

The manufacture of composites based on polyester resin and zeolite clinoptilolite had five (5) variants. Variant No. 1, was only 100% polyester resin, because it aims to obtain a reference for comparison with the other four materials, made with concentrations of 3, 5, 7 and 10% of zeolite particles and designated as variants No 2, No 3, No 4 and No 5, respectively. This variation of the concentration, had as objective, to select the one with best properties of resistance to traction and hardness. Before manufacturing the above-mentioned materials, it is first necessary to know the characteristics of both compounds.

### Matrix and Reinforcement Materials

Zeolite was used as reinforcement material and a polymer was used as matrix, in this case, of unsaturated orthophthalic polyester resin, with low emission of styrene monomer, commercially available Distriton 5119, produced by the Polynt Company, in Italy. This polymer was chosen because it is widely used in repairs of composite components in aeronautics, and its properties are appreciated in Table 1.

dureza y tracción, así como, por análisis de microscopía electrónica de barrido (MEB) de varios materiales compuestos de matriz de poliéster termoestable reforzado con partículas de zeolita cubana. Estos materiales no son nocivos al medio ambiente y ni al hombre, además permiten su manipulación y reciclaje, como parte de su ciclo de vida. Esto proporciona las posibilidades de introducción e implementación en la industria de implementos y construcción de maquinarias agrícolas, como parte de piezas de bajas prestaciones mecánicas, así como en el mejoramiento de las técnicas de cultivos.

Una vez fabricados los materiales y realizados los ensayos, se obtuvieron los valores de resistencia a la tracción, impacto y dureza de los diferentes compuestos, así como, la caracterización de la zeolita clinoptilolita de la región de San Andrés en Holguín.

## MÉTODOS

Fueron fabricadas cinco (5) variantes de estos materiales compuestos. La variante No 1, fue solo al 100% de resina de poliéster, debido a que tiene por objetivo obtener una referencia para comparación con los otros cuatro materiales, fabricados con concentraciones de 3, 5, 7 y 10% de partículas de zeolita y designados como variantes No 2, No 3, No 4 y No 5, respectivamente. Con esa variación del volumen de zeolita se determina la influencia de su concentración en las propiedades mecánicas, como son la resistencia a la tracción, impacto y dureza. Las características de cada material se presentan a continuación.

### Material de refuerzo y matriz

Como material de refuerzo, se usó la zeolita y como matriz un polímero, en este caso, de resina de poliéster ortoftálico, insaturado con baja emisión del monómero de estireno, de nombre comercial Distritón 5119, producido por la Empresa Polynt, en Italia. Fue escogido este polímero, debido a que es ampliamente utilizado en reparaciones de componentes de material compuesto en la aeronáutica, sus propiedades se aprecian en la Tabla 1.

TABLE 1. Polyester Distriton 5119 Properties  
TABLA 1. Datos del Poliéster Distritón 5119

Properties	Standard Test	Standard Values
Color	RS13F	Light yellow
Odor		Styrene
Apparent density	ISO 2811	1.1-1.15 g/cm <sup>3</sup>
RVF Viscosity, s 2 rpm	GM025	580-700 mPa·s
Contents of styrene monomer	RS06C	31-35%
Gel time	RS13G	20.00-26.00 min
Hardness time	RS13G	31.00-43.00 min
Exothermic peak	RS13G	140-170°C
Flashpoint	EN 22719	31°C

Polyester resins have low viscosity, low percentage of non-volatiles and good impregnation with fiber reinforcements. Besides, they have suitable gel time and rapid unmolding and they are translucent and thixotropic. Once cured, they are infusible

Las resinas de poliésteres presentan baja viscosidad, bajo porcentaje de no volátiles, buena impregnación con refuerzos de fibra, adecuado tiempo de gel y rápido desmolde, es translúcida y tixotrópica. Una vez curadas, son infusibles e

and insoluble, with excellent cross-linking, good transparency, high refractive index, high dimensional stability, good mechanical properties; moreover, they have good resistance to chemical agents and high hydrolytic resistance (Dai, *et al.*, 2013; He, *et al.*, 2017; Wang, *et al.*, 2016).

This polyester resin is used as a thermoset polymer, which must be subjected to a curing or polymerization process (three-dimensional cross-linking or reticulation of the resin chains with the monomer) so that the polymer passes from a liquid to an infusible solid state. For the execution of this process, it is necessary that the resin react with catalysts.

The catalyst used is methyl-ethyl ketone peroxide (MEKP), commercially available Curox M-302 from GmbH & Co. KG, Germany. This is a mixture of some types of peroxide compounds and it is the one recommended in the technical sheet of polyester Distritón 5119, in which it is added to 0.8% of the volume thereof. Its data are shown in Table 2.

insolubles, con excelente reticulación, buena transparencia, elevado índice de refracción, alta estabilidad dimensional, buenas propiedades mecánicas, buena resistencia a los agentes químicos y alta resistencia hidrolítica (Dai *et al.*, 2013; He *et al.*, 2017; Wang *et al.*, 2016).

Dicha resina de poliéster, empleada como un polímero termofijo, se somete a un proceso de endurecimiento (entrecruzamiento tridimensional o reticulación de las cadenas de la resina con el monómero) para que pase de un estado líquido a un estado sólido infusible. Por lo que se necesita el uso de catalizadores. El catalizador utilizado, fue el Peróxido de metil-etil-cetona (PMEC-español o MEKP-inglés), de nombre comercial Curox M-302 de la Empresa Estados Iniciadores GmbH & Co. KG de Alemania. Este es una mezcla de algunos tipos de compuestos de peróxidos y es el recomendado en la ficha técnica del poliéster Distritón 5119. Sus datos se muestran en la Tabla 2.

**TABLE 2. Curox 302 Data**  
**TABLA 2. Datos del Curox M-302**

Physical state and color	Liquid and colorless
CAS number	1338-23-4
Formula	C4H10O4p
Flashpoint	56°C, standard: ISO 3679, Seta-Flash
Fusion point/interval	-10 a -5.5°C
Vapor pressure	0.184 Pa a 25°C
Density	1.02 g/cm <sup>3</sup> a 20°C
Water solubility	Approximately 6.5 g/L a 20°C
Dynamic viscosity	13 MPa·s a 20°C
Refractive index	1.431 a 20°C

The critical temperature of an initiator indicates at what temperature it generates rapidly free radicals. In the case of PMECC, its critical temperature in unsaturated polyester resins is 80°C. As in the present work, it is desired to produce the composites at room temperature, the PMECC primer is combined with the cobalt octoate accelerator.

The accelerator used was 6% cobalt octoate in xylene, commercial name SORODRY cobalt 6% xylene, produced by Comargo Material Composite Company S.L., Spain. It is recommended in the technical sheet of polyester Distritón 5119, in which, it is added to 0.3% of the volume thereof. Its data are presented in Table 3.

La temperatura crítica de un iniciador, indica, a que temperatura es a la que este, en prueba, rápidamente genera radicales libres. En el caso del PMECC, su temperatura crítica en resinas poliéster insaturados es de 80°C. Como en el presente trabajo, se desea elaborar los materiales compuestos a temperatura ambiente, el iniciador PMECC se combina con el acelerador Octoato de Cobalto.

El acelerador empleado fue el Octoato de Cobalto al 6% en Xileno, de nombre comercial SORODRY Cobalto, producido por la Empresa Comargo Material compuestos S. L., España. Es el recomendado en la ficha técnica del poliéster Distritón 5119, el cual se adiciona al 0,3% del volumen del mismo. Sus datos se presentan en la Tabla 3.

**TABLE 3. Cobalt Octoate Data**  
**TABLA 3. Datos del Octoato de Cobalto**

Synonyms: Cobalt 2-ethylhexoate, Cobalt bis (2-ethylhexanoate), Cobalt octoate.	
Formula	(C8H16O2)2Co
Composition	N.R.
CAS number	136-52-7
UN number	N.R.
Physical state	Liquid
Color and odor	Reddish violet, with odor of hydrocarbon
Specific gravity (water=1)	1.013/25°C
Flashpoint	48°C
Vapor density	Greater than 1

The cobalt octoate produces an optical bleaching effect on the materials to which it is added and is an extremely active oxidizing agent. It is used as an accelerator in the cross-linking reaction of the polyesters associated with MEKP, whose reaction offers an almost ideal system for curing at room temperature, influencing its amount in gel time and curing speed.

### Characterization of Natural Clinoptilolite Zeolite

Zeolite, as natural clay and consisting predominantly of aluminum silicates, has properties such as white to pink color, ion exchange and reversible desorption of water (Campbell, 2006; Cekja, *et al.*, 2007). The structure of zeolite presents canals and cavities of molecular dimensions in which are compensating cations, water molecules or other adsorbents and salts. This type of microscopic structure causes the zeolites to have an extremely large internal surface, between 500 and 1000 m<sup>2</sup>/g, relative to their external surface. However, this surface is poorly accessible for macromolecular type contaminants (Cekja, *et al.*, 2007). In the manufactured composites, clinoptilolite zeolite type was used which belongs to the group of heulandita (monoclinic structural system, C4-C4-T1) from San Andrés, Holguín processing plant. This type of zeolite is white, with flashpoint of 1300°C, density of approximately 1.69 g/cm<sup>3</sup>, apparent density of 0.98 g/L, pH of 7.6, water retention at 30% and hardness (Mohs scale) between 3.5 to 4.0 (Callister, & Rethwisch, 2016).

### Granulometric Analysis

To obtain the degree of quality and the size of zeolite, a granulometric analysis of zeolite is performed according to Cuban standard NC: 625/2008.

### Scanning Electron Microscopy

Through scanning electron microscopy, images of the zeolite were obtained and its chemical composition was determined.

### Analysis of the Mineralogical Composition or Phases

To determine mineralogical or phase composition of clinoptilolite zeolite, X-ray diffraction was used; in which, the quantitative results of the presence of Clinoptilolite, Heulandite and Mordenite are obtained. This analysis is performed according to the Cuban standard NC: 630/2008 and NC: 627/2008. The pulverized sample is analyzed in a set formed by an automated diffractometer, with a Bragg-Brentano focusing system, coupled to a computer, where a diffractogram is obtained, as shown in Figure 1 and summarized in the Table 4.

El Octoato de Cobalto, produce un efecto de blanqueo óptico sobre los materiales a los que es agregado y es un activísimo agente de oxidación. Se emplea como acelerador en la reacción de reticulación de los poliésteres asociados al MEKP, cuya reacción, ofrece un sistema casi ideal para el curado a temperatura ambiente, influyendo su cantidad en el tiempo de gel y la velocidad de curado.

### Caracterización de la zeolita clinoptilolita natural

La zeolita, como arcilla natural y constituida predominantemente por silicatos de aluminio, tiene propiedades como: color blanco al rosado, el intercambio de iones y la desorción reversible del agua (Campbell, 2006; Cekja *et al.*, 2007). La estructura de la zeolita presenta canales y cavidades de dimensiones moleculares en las cuales se encuentran los cationes de compensación, moléculas de agua u otros adsorbentes y sales. Este tipo de estructura microscópica, hace que las zeolitas presenten una superficie interna extremadamente grande, entre 500 y 1 000 m<sup>2</sup>/g, con relación a su superficie externa. Sin embargo, esta superficie es poco accesible para los contaminantes de tipo macromolecular (Cekja *et al.*, 2007). En los compuestos fabricados, se empleó una zeolita del tipo clinoptilolita, perteneciente al grupo de la heulandita (sistema estructural monoclinico, C4-C4-T1), proveniente de la planta procesadora de San Andrés, Holguín. Este tipo de zeolita clinoptilolita es de color blanco, con punto de fusión de 1 300°C, densidad aproximada de 1,69 g/cm<sup>3</sup>, densidad aparente de 0,98 g/L, retención de agua al 30%, pH de 7,6 y dureza (escala de Mohs) que oscila entre 3,5 y 4,0 (Callister y Rethwisch, 2016).

### Análisis granulométrico

Para obtener el grado de calidad y el tamaño de la zeolita se realiza un análisis granulométrico o de tamizado de la zeolita, según la norma cubana NC 625:2008.

### Microscopía electrónica de barrido

Por medio de la microscopía electrónica de barrido, se pudieron obtener imágenes de la zeolita y determinar su composición química (MEB-EDS).

### Análisis de la composición mineralógica o fases

La determinación de la composición mineralógica o de fases de la zeolita se realiza mediante difracción por rayos x (DRX), en el cual, se obtienen los resultados cuantitativos de la presencia de Clinoptilolita, Heulandita y Mordenita. Este análisis, se realiza según la norma cubana NC 630:2008 y la NC 627:2008. La muestra pulverizada es analizada en un difractómetro automatizado, con sistema de focalización Bragg-Brentano, acoplado a una computadora, donde se obtiene un difractograma, mostrado en la Figura 1 y resumido en la Tabla 4.

TABLE 4. Results of the Mineralogical Composition or Phases of Clinoptilolite  
 TABLA 4. Resultados de la composición mineralógica o fases de la clinoptilolita

Phases	Clinoptilolite	Mordenite	Zeolite Total	Montmorillonite	Calcite
[%]	50	28	78	11	1

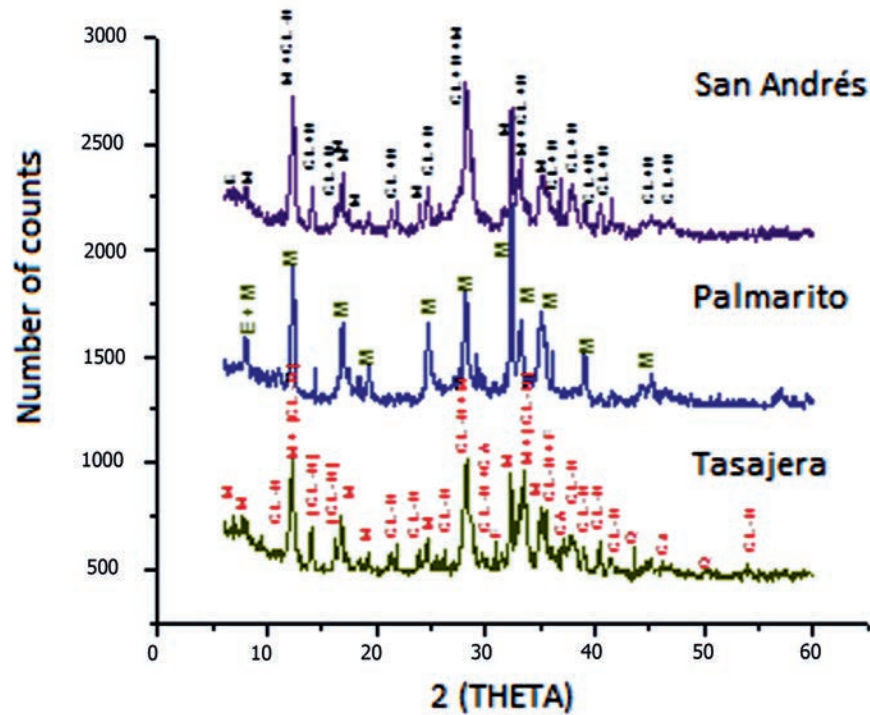


FIGURE 1. Mineralogical Composition of the Clinoptilolite Zeolite from Three Reservoirs in Cuba  
 FIGURA 1. Composición mineralógica de la zeolita clinoptilolita de tres yacimientos en Cuba.

**Differential Thermal Analysis (DTA) and Thermal Gravimetric (TGA)**

As a result of DTA and TGA analyzes, the amounts of clay (Montmorillonite) and calcite present in the zeolite are obtained. This analysis is performed through Cuban Standard NC: 629/2008 and Cuban Standard NC: 627/2008. The pulverized sample is placed in a set formed by a thermo-analyzer coupled to a computer, where a thermogram is obtained. See Figure 2.

**Análisis térmico diferencial (ATD) y térmico gravimétrico (ATG)**

Como resultado de los análisis de ATD y ATG, se obtienen resultados cuantitativos de la presencia de arcilla (Montmorillonita) y calcita presente en la zeolita. Este análisis, se realiza por medio de la norma Cubana NC 629:2008 y la norma cubana NC 627:2008. La muestra pulverizada se coloca en un conjunto formado por un termoanalizador acoplado a una computadora, donde se obtiene un termograma, ver Figura 2.

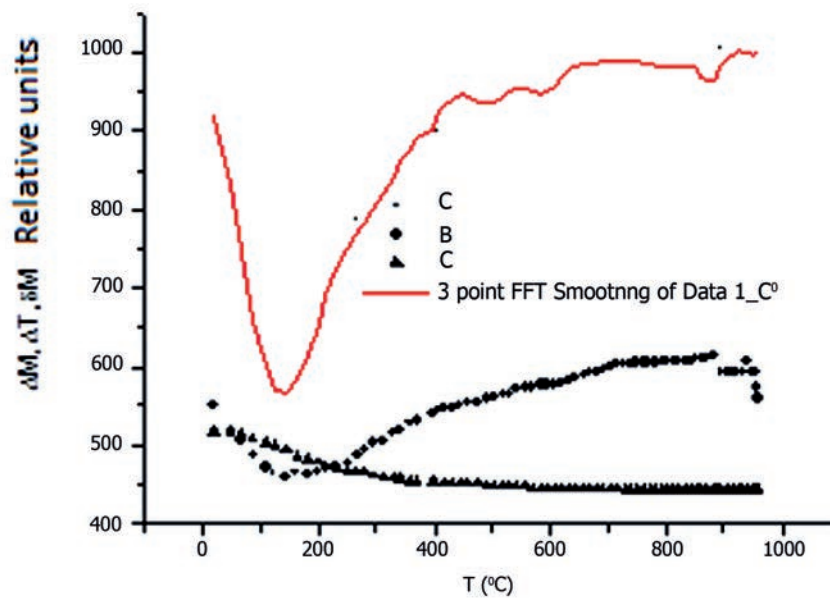


FIGURE 2. Thermogram of Clinoptilolite Zeolite from San Andrés, Holguín.  
 FIGURA 2. Termograma de la zeolita clinoptilolita de San Andrés, Holguín.



## Cation Exchange Capacity Analysis

This volumetric method is used for the determination of the cationic capacity with values higher than 2meq/100g, and is made by Cuban Standard NC: 626/2008. Marconi method was used to find the previous value of CEC in the zeolite and the results are presented in Table 5. To use the sample of clay mineral or zeolite by this method, the sample is prepared previously by treatment with reagent of ammonium acetate nitrate in solution, with electromagnetic stirring for 12-24 hours, rest and subsequent washing with ethyl alcohol, rinse by centrifugation and drying.

The zeolite sample possesses a total cation exchange capacity above 120 meq/100 g. This characteristic provides the chemical modification of its surface. The cationic composition indicates that it belongs to the calcic-sodium type. The zeolite was used after being processed industrially, without receiving any further treatment.

TABLE 5. Cationic Composition of Clinoptilolite Zeolite  
TABLA 5. Composición catiónica de la zeolita clinoptilolita

Cations	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Sum of Cations
CEC. meq/100 g	51.05	5.0	43.94	27.42	127.41

## Manufacturing and Tests of the Composite Materials

The manufacture and characterization of the materials is divided into several parts, which are described below.

### Manufacturing Processes of the Composite Materials

In the molding process of the polyester polymer matrix composite, the curing rate is sufficiently slow at room temperature to give adequate impregnation time of the reinforcement, therefore, the fabrication technology of these composites is performed in four consecutive steps:

Preparation of the mold (cleaning and covering with the mold release agent) and materials (weighing and measuring).

Adaptation of the resin (activated and catalyzed) impregnated with the reinforcement in the mold.

Curing time or crosslinking of the resin in the mold.

Removal of the final part and final curing time.

### Molds

The selected process is molding without pressure and in cold, being made in a simple mold consisting of two crystals separated with a flexible element, which vertically arranged, contain the polyester resin and the portion of zeolite to be molded, according to a manufacture variant. The connection of these components is guaranteed by the use of clamps.

The molding process was without pressure, cold and it consists of four consecutive steps:

Preparation of the mold and materials: Always, at the beginning of each molding, the mold (both parts) must be cleaned of the residues that may have remained in the previous molding, preferably with alcohol. Then, impregnated with the release agent. It is guaranteed to obtain 3, 5, 7 and 10% of zeolite, by

## Análisis de la capacidad de intercambio catiónico

Este método volumétrico, es usado para la determinación de la capacidad catiónica con valores superiores a 2meq/100 g, y se realiza por medio de la norma cubana NC 626:2008. El método Marconi, fue usado para hallar el valor anterior de CIC en la zeolita y los resultados se presentan en la Tabla 5. Para llegar a utilizar la muestra de mineral arcilloso o zeolita por este método, se prepara previamente la muestra por tratamiento con reactivo de nitrato acetato de amonio en disolución con agitado electromagnético por 12-24 horas, con reposo y lavado posterior con alcohol etílico en centrifugado de muestra y secado.

La muestra de zeolita, posee una capacidad de intercambio catiónica total por encima de 120 meq/100 g. Esta característica, favorece la modificación química de su superficie. La composición catiónica indica que la misma pertenece al tipo cálcicasódicas. La zeolita utilizada solo fue empleada posterior a su procesado industrial, sin recibir tratamiento alguno posterior.

## Fabricación y ensayos de los materiales compuestos

La fabricación y caracterización de los materiales, está dividida en varias partes, las cuales se describen a continuación:

### Procesos de obtención del material compuesto

En el proceso de moldeo del compuesto de matriz polimérica de poliéster, la velocidad de curado es suficientemente lenta a temperatura ambiente, como para dar tiempo a una adecuada impregnación del refuerzo, por tanto, la tecnología de fabricación de estos materiales compuestos se realiza en cuatro etapas consecutivas:

Preparación del molde (limpieza y cubrir con el agente desmoldeante) y de los materiales (pesaje y medición).

Adaptación de la resina (activada y catalizada) impregnada con el refuerzo en el molde.

Tiempo de curado o reticulación de la resina en el molde.

Desmoldeo de la pieza final y tiempo de curado final.

### Moldes

El proceso seleccionado, es el moldeo sin presión y en frío, realizándose en un sencillo molde que consta de dos cristales separados con un elemento flexible, que, dispuestos verticalmente, contienen la resina poliéster y la porción de zeolita a moldear. La unión de dichos componentes se garantiza con la utilización de mordazas.

El proceso de moldeo consta de cuatro etapas consecutivas:

Preparación del molde y de los materiales: Siempre, al inicio de cada moldeo, el molde (ambas partes) se debe limpiar de los restos que pueden haber quedado en el anterior moldeo, preferentemente con alcohol. Luego, se impregna con el agente desmoldeante. Se garantiza la obtención del 3, 5, 7 y 10% de

weighing. A proportion of 0.3% of cobalt octoate is added to the polyester resin to activate it.

Adaptation of the resin (activated and catalyzed) impregnated with the reinforcement in the mold: Each portion of zeolite was pre-mixed with the activated polyester resin 24 hours before the molding, to allow the activated resin to penetrate into the canals and pores of the zeolite particles and achieve a quality interface. Then, to the pre-mix of activated resin + zeolite, the Curox M-302 catalyst is added and then it is poured into the mold. In the case of the 100% variant of polyester resin, it was simply catalyzed (0.8% Curox M-302) and poured into the mold.

Curing time or crosslinking of the resin in the mold: Generally, in this step, it is necessary to take into account, that while the activated resin is catalyzed, there is a time of about 30 minutes to complete the molding, before the gel process begins.

Removal of the final part and final curing time: the plates of all variants were placed in a dry and ventilated place to finish the curing process to proceed to obtain specimens for tensile and impact tests, by means of cutting tools with the dimensions according to the standards of these tests.

### Test Performed

The tensile tests were carried out on the universal traction test machine IBERTEST, whose unit of measurement is kN, scale 1/1, maximum capacity of 100 kN, with local temperature 23°C and controlled constant humidity of 60%, with a test speed of 0.1 kN/s. The standardization of the specimens was performed according to ASTM D 3039 Standard, the dimensions were: thickness: 3 mm, length: 250 mm and width: 30 mm. Five specimens were tested for each variant of composite material. The tensile strength values of the test specimens of each variant were averaged.

Hardness test was performed with an LX-D shore durometer, 20-90 HD range, used for plastic materials and elastomers and it was made according to ISO 868/2000 Standard. Six measurements were made for each composite variant.

Impact tests were performed in the Izod Time Group Inc. XJU-22 impact machine with mechanical dial display and with the following characteristics: energy between 11 and 22 J, pendulum velocity of 3.5 m/s, impact arm of 0.322 mm, pendulum moment of 11.3419 Nm, minimum scale = 1 J. The samples for the Izod test were performed according to ASTM D 256 Standard. Dimensions: thickness 3 mm, width: 15 mm and length: 63 mm. Six specimens were tested for each composite variant and the loading values were averaged to the impact fracture of each variant. The breakage energy values ( $E_i$ ) of each variant were averaged.

## RESULTS AND DISCUSSION

As result of the granulometric analysis it was obtained that more than 90% were particles smaller than 0.074 mm (74 microns) corresponding to the 200 mesh sieve. Therefore, the clinoptilolite zeolite used is of quality degree I, according to particle size.

zeolita, mediante su pesaje. A la resina Poliéster se le añade un 0,3% de Octoato de Cobalto para activarla.

Adaptación de la resina (activada y catalizada) impregnada con el refuerzo en el molde: Cada porción de zeolita, fue mezclada previamente con la resina poliéster activada con 24 horas de antelación al moldeo, para permitir, que la resina activada penetre en los canales y poros de las partículas de zeolita y lograr una interface de calidad. Luego, a la mezcla previa de resina activada + zeolita, se le añade el catalizador Curox M-302 y luego, se vierte en el molde, Figura 8. En el caso de la variante de 100% de resina Poliéster, esta fue simplemente catalizada (al 0,8% de Curox M-302) y vertida en el molde.

Tiempo de curado o reticulación de la resina en el molde: De forma general, en este paso, hay que tener en cuenta, que a la vez que la resina activada es catalizada, se tiene un espacio de tiempo de cerca de 30 minutos para terminar el moldeo, antes de que comience el proceso de gel.

Desmoldeo de la pieza final y tiempo de curado final: Las placas de todas las variantes fueron colocadas en un lugar seco y ventilado para que culmine el proceso de curado, para proceder a la obtención de las probetas de tracción e impacto, por medio de herramientas de corte con las dimensiones según las normas de estos ensayos.

### Ensayos realizados

Los ensayos de tracción fueron realizados en la máquina de ensayo de tracción universal IBERTEST, con capacidad máxima de 100 kN, la temperatura del local fue de 23°C y humedad controlada al 60%, la velocidad usada en el ensayo fue de 0,1 kN/s. La normalización de los cuerpos de prueba se realizó según las normas ASTM D 3039:2014, donde, las dimensiones escogidas fueron: espesura: 3 mm, largo: 250 mm y ancho: 30 mm. Fueron ensayadas cinco probetas por cada variante de material fabricado. Se promediaron los valores de carga a la rotura a tracción de las probetas de cada variante.

El ensayo de dureza, se realizó con el durómetro LX-D shore, con capacidad entre 20-90 HD, utilizado para materiales plásticos y elastómeros. Fue realizado según por la norma ISO 868:2000. Fueron realizadas seis mediciones por cada variante de material compuesto.

Los ensayos de impacto, se realizaron en una máquina Izod Time Group Inc. XJU-22, con las siguientes características: energía entre 11 y 22 J, velocidad del péndulo de 3,5 m/s, brazo de impacto con 0,322 mm, momento del péndulo de 11,3419 N-m y sensibilidad del J. La normalización de las muestras de ensayo se realizó según las normas ASTM D 256:2010, donde, las dimensiones escogidas fueron: espesura 3 mm, ancho: 15 mm y largo: 63 mm. Fueron ensayadas seis probetas por cada variante de material compuesto y se promediaron los valores de carga a la rotura a impacto de cada variante. Los valores de energía de rotura al impacto ( $E_i$ ) de cada variante se promediaron.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como resultado del análisis granulométrico se obtuvo que más del 90% correspondía a partículas menores de 0,074 mm (74 micras) correspondiente al tamiz 200 mesh. Por lo que la zeolita clinoptilolita es de grado de calidad I, según el tamaño de la partí-

In the SEM images of the zeolite, crystal structure elongated and presence of channels oriented inward was observed, as shown in Figure 3. The zeolite sample has a high  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  molar ratio, ranging from 7.0 to 12.0, a characteristic feature of these high silica minerals. Being favorable the relation between both allowing good thermal stability and resistance to acids. The chemical composition of the natural clinoptilolite zeolite is referred in Table 6.

En las imágenes de MEB de la zeolita, se aprecia la estructura de cristales de forma alargada y la presencia de canales orientados hacia su interior, ver Figura 3. La muestra de zeolita, presenta una alta relación molar  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ , que oscila entre 7,0 y 12,0, aspecto característico de estos minerales de alta sílice. Siendo favorable la relación entre ambos, permitiendo buena estabilidad térmica y resistencia al ataque de los ácidos. La composición química de la zeolita clinoptilolita natural es expuesta en la Tabla 6.

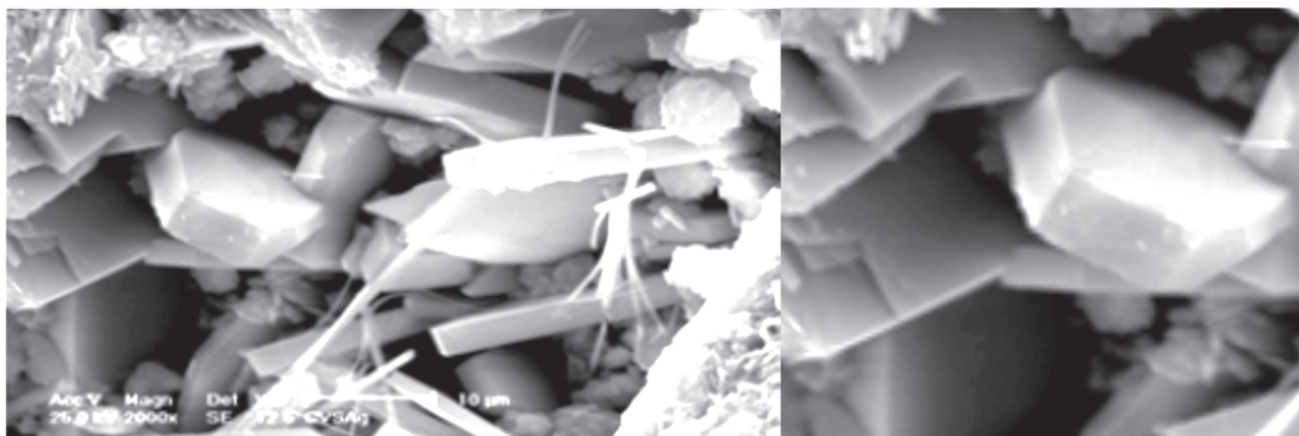


FIGURE 3. SEM at 2000X of Clinoptilolite Crystals  
 FIGURA 3. MEB a 2000X de los cristales de clinoptilolita.

TABLE 6. Chemical Composition of Natural Clinoptilolite Zeolite  
 TABLA 6. Composición química de la zeolita clinoptilolita natural

Elements	$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{Na}_2\text{O}$	$\text{K}_2\text{O}$	$\text{MgO}$	$\text{CaO}$	PPI
[%]	69.5	10.48	1.48	1.61	1.34	0.82	2.59	10.94

As result of the tensile tests, it is shown in Figure 4, that the particulate variants of zeolite with 3, 5, 7 and 10% have a tensile strength higher than the pure polyester polymer. The tensile strength increases with the increase of the zeolite percentage, with the highest value of 34.63 MPa corresponding to the particulate composite variant of 10% zeolite.

Como resultado de los ensayos de tracción, mostrados en la Figura 4, se obtiene que las variantes de material compuesto con refuerzo de zeolita variando en 3, 5, 7 y 10% presentan una resistencia a la tracción superior al material de resina de poliéster. La resistencia a la tracción aumenta con el aumento del porcentaje de zeolita, correspondiendo el mayor valor de 34,63 MPa a la variante de material compuesto con refuerzo de 10% de zeolita.

The reason for the increase in tensile strength is that the magnitude of the positive phenomena exceeds the magnitude of the negative phenomena. As positive phenomena are considered the following: the high hardness and stiffness of zeolite particles, the strong stable binding bond, regular micrometric level of the surface of the particle itself with the interface of the polymer matrix maintaining this characteristic even after the applied overload. The uniform distribution of the zeolite particles in the matrix without accumulations and/or bundles that would cause appreciable stress concentration, which could lower the tensile and/or stress value of the load in the polymer matrix of the composite material before the plastic deformation of the polymer matrix. As a negative phenomenon it was found that, the micrometric scale particle behave as an imperfection or defect, but it does not negatively influence its resistance from 3% to 10% zeolite.

La causa del incremento de la resistencia a la tracción, se debe, a que la magnitud de los fenómenos positivos sobrepasa la magnitud de los fenómenos negativos. Cuentan como fenómenos positivos: la alta dureza y rigidez de las partículas de zeolita; la fuerte unión de enlace estable, regular a nivel micrométrico de la superficie porosa de la propia partícula con la interface de la matriz del polímero, que promueve una unión mecánica estable y fuerte, manteniendo esta característica aún después de la sobrecarga aplicada; la distribución uniforme de las partículas de zeolita por la matriz sin acumulaciones y/o apilamientos que provocarían concentración de tensiones apreciables, las cuales, pudieran rebajar el valor de la tracción y/o tensión de la carga en la matriz polimérica del material compuesto ante la deformación plástica de la matriz polimérica. Como fenómeno negativo, se tiene, que las partículas a escala micrométrica, se comportan como una imperfección o defecto, pero no influye negativamente en su resistencia del 3 al 10% de zeolita.

In Figure 5, the results of the hardness tests are showed. Pure matrix material has lower hardness values as compared

En la Figura 5, se exponen los resultados de los ensayos de dureza. El material de matriz pura presenta valores inferiores

to materials reinforced with different percentages of zeolite. In the case of reinforced materials, with increasing zeolite of 3, 5, 7 and 10%, hardness values also increase, where the highest value equals 87.00 HD corresponds to the composite with 10% zeolite as reinforcement.

The reason for that increase is the prevalence of positive phenomena, such as zeolite having high hardness values, and the existence of a strong mechanical particle-matrix bond that provides hardness and rigidity. There are no appreciable negative phenomena.

de dureza en comparación con los materiales reforzados con diferentes porcentos de zeolita. En el caso de los materiales reforzados, con el aumento del por ciento de partículas de zeolita de 3, 5, 7 y 10% los valores de dureza aumentan también. El mayor valor igual a 87,00 HD corresponde al material compuesto con refuerzo de 10% de zeolita.

La causa de este aumento, se debe a la prevalencia de los fenómenos positivos, como que la zeolita presenta altos valores de dureza, y la existencia de una fuerte unión mecánica partícula-matriz que aporta dureza y rigidez. No existen fenómenos negativos apreciables.

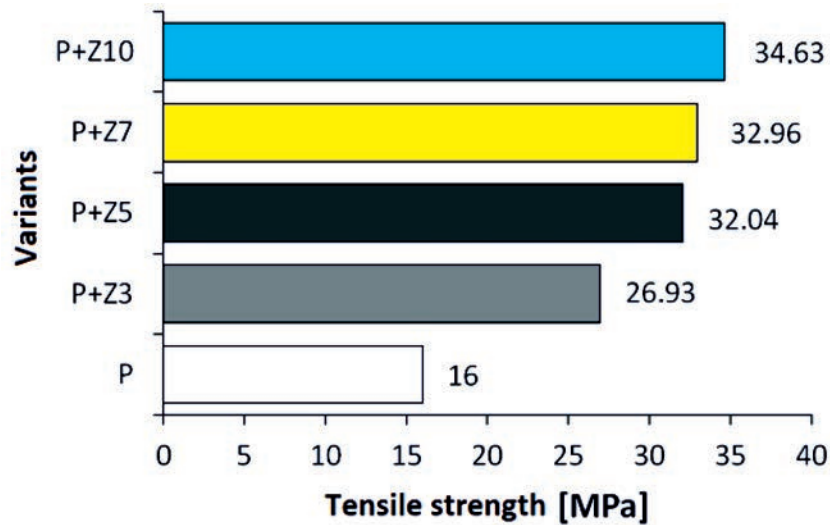


FIGURE 4. Comparison Graphic of Tensile Strength Values of Pure Polymer versus Composites with Different Percentages of Zeolite  
 FIGURA 4. Gráfico de comparación de los valores de resistencia a la tracción del polímero puro con los compuestos de diferentes porcentajes de zeolita.

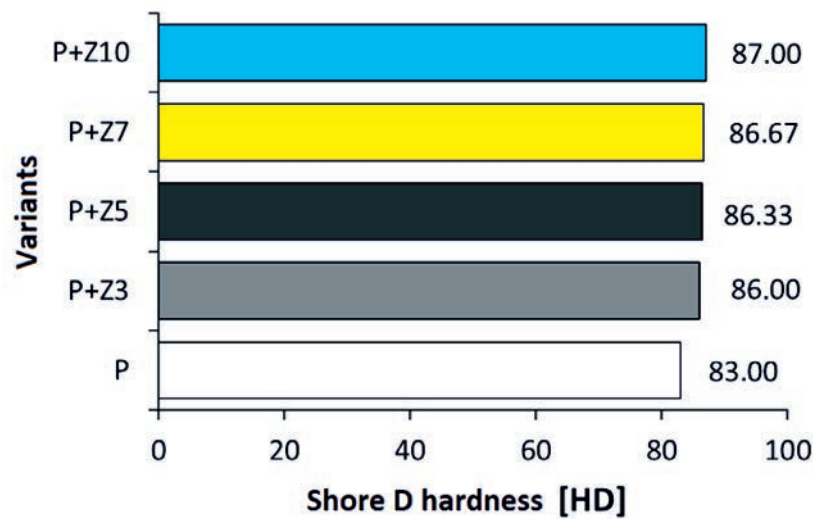


FIGURE 5. Comparison Graphic of Pure Polymer Hardness Values versus Composites with Different Percentages of Zeolite  
 FIGURA 5. Gráfico de comparación de los valores de dureza del polímero puro con los compuestos de diferentes porcentajes de zeolita.

The last test type performed showed that the variants of zeolite particulate composite (3, 5, 7 and 10%) have lower impact strength than the pure material. The results of these tests can be seen in Figure 6. Impact strength decreases with zeolite percent increase up to 7%. That decrease stops with a slight increase in 10% zeolite.

El último ensayo realizado, mostró que las variantes de material compuesto con refuerzo de zeolita (3, 5, 7 y 10%) presentan una resistencia al impacto inferior a la variante del material puro. En la Figura 6 se pueden apreciar los resultados de esos ensayos. La resistencia al impacto disminuye con el aumento del por ciento de zeolita hasta el 7%, deteniéndose dicha disminución con un ligero aumento en el 10% de zeolita.



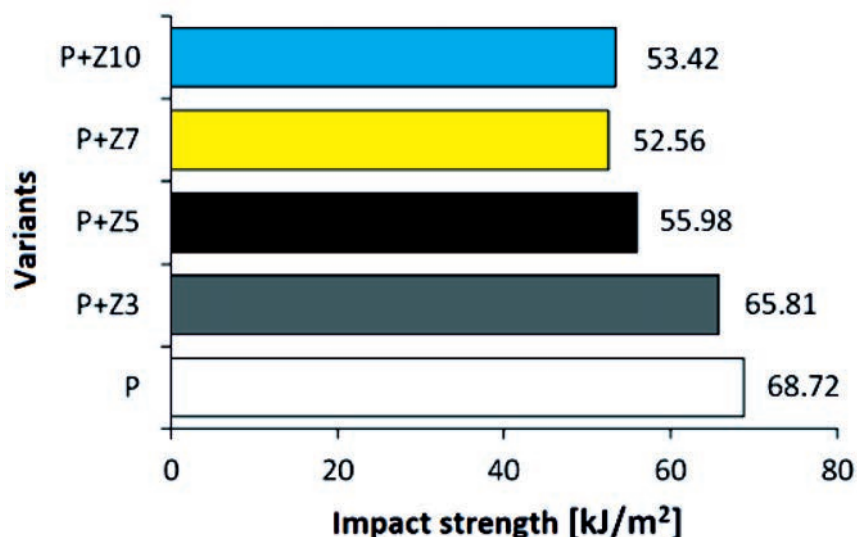


Figure 6. Comparison Graphic of the Impact Strength Values of the Pure Polymer versus Composites with Different Percentages of Zeolite  
 Figura 6. Gráfico De Comparación De Los Valores De Resistencia Al Impacto Del Polímero Puro Con Los Compuestos De Diferentes Porcientos De Zeolita.

That weakening is mainly because zeolite particles behave as defects in the polymer material and that the high hardness and rigidity of this component makes it a fragile material, in which the propagation of the crack is performed faster, overcoming resistance by the mechanical particle-polymer bond. Cracking occurs outside the particle, which being a center of nucleation and concentration of residual stresses of impact under loads, accumulates them and promote cracks that grow and promote the rupture of the material under loads of impact. The decrease in impact values occurs abruptly in 3% and 5% of zeolite stopping at 7%, to increase slightly at 10%. This latter behavior would be justified because the mechanical particle-polymer bond has increased in such a way that it presents a somewhat significant resistance to the crack propagation. To define the real cause, a study of composite materials with addition of zeolite particles greater than 10% should be proposed.

## CONCLUSIONS

- Composite materials with reinforcements of Cuban zeolite particles with a thermostable polymer matrix were manufactured and tested. The proportions used as reinforcement were 3, 5, 7 and 10%.
- In the tensile test, the strength values increase with increasing percentage of zeolite particles, because zeolite has low plastic and elastic properties, with a porous structure, which promotes stable and strong mechanical bonding.
- Impact strength values decrease with increasing percentage of zeolite particles because zeolite increases the hardness and rigidity of the composite material but at the same time that makes it more brittle by creating additional stress centers in its structure. Therefore, with increasing percentage of zeolite in the materials increased hardness.
- The results show the strength of the particle-matrix interfaces, which convert the particles of clinoptilolite

La causa de este debilitamiento se debe, principalmente, a que las partículas de zeolita se comportan como defectos en el material polimérico, y que la elevada dureza y rigidez de este compuesto convierte a este en un material frágil, en el cual, la propagación de la grieta se realiza más rápido, venciendo la resistencia por parte de la unión mecánica partícula-polímero. La fisura, se produce fuera de la partícula, la cual, siendo un centro de nucleación y concentración de tensiones residuales de impacto bajo cargas, que se acumulan a su alrededor y promueven estas fisuras que crecen y promueven la ruptura del material bajo cargas de impacto. La disminución de los valores de impacto ocurre bruscamente en los porcentos de zeolita 3 y 5%, deteniéndose en el 7%, para aumentar ligeramente en el 10%. Este último comportamiento, estaría justificado, porque la unión mecánica partícula-polímero haya aumentado, de tal forma, que presenta una resistencia algo significativa frente a la propagación de la grieta. Para definir la verdadera causa, se debe proponer el estudio de materiales compuestos con adición de partículas de zeolita superiores al 10%.

## CONCLUSIONES

- Fueron fabricados y ensayados, materiales compuestos con refuerzos de partículas de zeolita cubana, con matriz de polímero termoestable. La proporción utilizada como refuerzo fue de 3, 5, 7 y 10%.
- En el ensayo de tracción, los valores de resistencia aumentan con el aumento del porcentaje de las partículas de zeolita, debido, a que la zeolita tiene bajas propiedades plásticas y elásticas, con una estructura porosa, que promueve una unión mecánica estable y fuerte.
- Los valores de resistencia al impacto disminuyen con el aumento del porcentaje de zeolita, porque la zeolita aumenta la dureza y rigidez del material compuesto, aunque, lo vuelve más frágil al crear centros de tensión adicionales en su estructura. Por eso, con el aumento del porcentaje de zeolita en los materiales aumentó la dureza. Los resultados mostrados

zeolite from San Andrés, Holguín, as a candidate to be used as reinforcement elements in a thermostable polymer matrix.

## ACKNOWLEDGEMENTS

The authors acknowledge the support provided by CAPES of Brazil, project “Development of nanocomposite materials of thermoplastic matrix reinforced with Cuban organophilic bentonite and Brazilian clays”. To the Department of Metallurgical Engineering and Materials of the Polytechnic School of the University of Sao Paulo, Brazil, for performing impact strength and SEM test. By conducting impact and MEB tests. To the Department of Construction of Machinery of the Polytechnic Institute “José Antonio Echeverría”.

evidencian la fortaleza de las interfaces partícula-matriz, que convierte a las partículas de zeolita clinoptilolita de San Andrés en Holguín, como candidata para su empleo como elementos de refuerzo en una matriz polimérica termoestable.

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) de Brasil, proyecto “Desenvolvimento de materiais nanocompositos de matriz termoplástica reforçados com bentonita organofílica cubana e argilas do brasil”. Al Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Brasil, por garantir a realização de los ensayos de impacto y MEB. Al Departamento de Construcción de Maquinaria de la Facultad de Ingeniería Mecánica del Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría.

## REFERENCES / REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CAMPBELL, F.C.: *Manufacturing technology for aerospace structural materials*, ser. Aerospace engineering materials science, Ed. Elsevier, 1.<sup>a</sup> ed., Amsterdam, 600 p., 2006, ISBN: 978-1-85617-495-4.
- ČEJKA, J.: *Introduction to zeolite science and practice*, ser. Studies in surface science and catalysis, no. ser. 168, Ed. Elsevier, Amsterdam, 1058 p., 2007, ISBN: 978-0-444-53063-9.
- CGEE (CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS): *Materiais Avançados 2010-2022, [en línea]*, Ed. CGEE, Brasília, Brasil, 360 p., 2010, ISBN: 978-85-60755-25-7, Disponible en: [https://www.cgee.org.br/documents/10182/734063/Livro\\_Materiais\\_Avançados\\_2010\\_6367.pdf](https://www.cgee.org.br/documents/10182/734063/Livro_Materiais_Avançados_2010_6367.pdf), [Consulta: 23 de junio de 2017].
- HE, S.; PETKOVICH, N.D.; LIU, K.; QIAN, Y.; MACOSKO, C.W.; STEIN, A.: “Unsaturated polyester resin toughening with very low loadings of GO derivatives”, *Polymer*, 110: 149-157, 2017, ISSN: 0032-3861, DOI: 10.1016/j.polymer.2016.12.057.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION: *Plásticos y ebonita*, no. ISO 868:2000, 2000.
- KAJTÁR, D.A.; KENYÓ, C.; RENNER, K.; MÓCZÓ, J.; FEKETE, E.; KRÖHNKE, C.; PUKÁNSZKY, B.: “Interfacial interactions and reinforcement in thermoplastics/zeolite composites”, *Composites Part B: Engineering*, 114: 386-394, 2017, ISSN: 1359-8368, DOI: 10.1016/j.compositesb.2016.12.015.
- KANG, D.; SONG, L.; JIANG, S.; YU, B.; YANG, W.; YUEN, R.K.K.; HU, Y.: “Unsaturated polyester resins modified with phosphorus-containing groups: Effects on thermal properties and flammability”, *Polymer Degradation and Stability*, 98(10): 2033-2040, 2013, ISSN: 0141-3910, DOI: 10.1016/j.polydegradstab.2013.07.008.
- MONDELO-GARCÍA, F.-J.; ALÍ-SHAH, L.; ALMEIDA, F.; VALÍN-RIVERA, J.-L.; DA SILVA-VALENZUELA, M.-G.; VALENZUELA-DÍAZ, F.-R.; GUERRA-SILVA, Y.; PÉREZ-RODRÍGUEZ, F.: “Caracterización de bentonitas y zeolitas sin tratamiento como refuerzo en materiales compuestos de matriz polimérica”, *Ingeniería Mecánica*, 17(1): 57-67, 2014a, ISSN: 1815-5944.
- MONDELO-GARCÍA, F.-J.; JESÚS-ALMEIDA, F.; MANUEL-SOUSA, F.; VALÍN-RIVERA, J.-L.; DA-SILVA-VALENZUELA, M.-G.; VALENZUELA-DÍAZ, F.-R.: “Caracterización física con difractogramas e hinchamiento de bentonitas organofílicas para adicionar a materiales compuestos poliméricos”, *Ingeniería Mecánica*, 17(2): 118-128, 2014b, ISSN: 1815-5944.
- OFICINA NACIONAL DE NORMALIZACIÓN: *Zeolitas naturales. Determinación de la capacidad de intercambio catiónico total*, no. NC 626:2008, La Habana, Cuba, 2008a.
- OFICINA NACIONAL DE NORMALIZACIÓN: *Zeolitas naturales. Determinación del contenido de zeolitas, arcillas y calcita mediante análisis térmico*, no. NC 629:2008, La Habana, Cuba, 2008b.
- OFICINA NACIONAL DE NORMALIZACIÓN: *Zeolitas naturales. Determinación del contenido de zeolitas mediante difracción de Rayos X*, no. NC 630:2008, La Habana, Cuba, 2008c.
- OFICINA NACIONAL DE NORMALIZACIÓN: *Zeolitas naturales. Preparación de muestras para ensayos de laboratorio*, no. NC 627:2008, La Habana, Cuba, 2008d.
- OFICINA NACIONAL DE NORMALIZACIÓN: *Zeolitas naturales. Requisitos*, no. NC 625:2008, La Habana, Cuba, 2008e.
- SÁNCHEZ, M.J.; MAURICIO, J.E.; PAREDES, A.R.; GAMERO, P.; CORTÉS, D.: “Antimicrobial properties of ZSM-5 type zeolite functionalized with silver”, *Materials Letters*, 191: 65-68, 2017, ISSN: 0167-577X, DOI: 10.1016/j.matlet.2017.01.039.
- SHARMA, B.; CHHIBBER, R.; MEHTA, R.: “Curing studies and mechanical properties of glass fiber reinforced composites based on silanized clay minerals”, *Applied Clay Science*, 138: 89-99, 2017, ISSN: 0169-1317, DOI: 10.1016/j.clay.2016.12.038.
- SUKENIK, A.; VINER-MOZZINI, Y.; TAVASSI, M.; NIR, S.: “Removal of cyanobacteria and cyanotoxins from lake water by composites of bentonite with micelles of the cation octadecyltrimethyl ammonium (ODTMA)”, *Water Research*, 120: 165-173, 2017, ISSN: 0043-1354, DOI: 10.1016/j.watres.2017.04.075.

VÉLEZ, M.R.M.; PERUGACHI, R.: *Estudio y Simulación del Comportamiento del Cemento Pórtland Tipo I con la Adición de 10% de Zeolita Ecuatoriana Mediante el Curado al Aire, [en línea]*, Escuela Superior politécnica del Litoral (ESPOL), Tesis de Grado, Ecuador, 2012, Disponible en: <https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/19734>, [Consulta: 23 de junio de 2017].

WANG, B.; QIAN, T.; ZHANG, Q.; ZHAN, X.; CHEN, F.: "Heat resistance and surface properties of polyester resin modified with fluorosilicone", *Surface and Coatings Technology*, 304: 31-39, 2016, ISSN: 0257-8972, DOI: 10.1016/j.surfcoat.2016.06.075.

**Received:** 22/03/2017.  
**Approved:** 15/06/2017.

Yosvani Guerra-Silva, Ing., Especialista, Empresa Cubana de Aeropuertos y Servicios Aeronáuticos S.A. Dirección Técnica. Avenida Independencia y Final, Rancho Boyeros, La Habana, Cuba. Correo electrónico: [yguerra@mecanica.cujae.edu.cu](mailto:yguerra@mecanica.cujae.edu.cu)

José Luis Valin-Rivera, Correo electrónico: [jose.valin@puvc.cl](mailto:jose.valin@puvc.cl)

María Elena Fernández-Abreu, Correo electrónico: [mary@mecanica.cujae.edu.cu](mailto:mary@mecanica.cujae.edu.cu)

Francisco Jesús Mondelo-García, Correo electrónico: [mondelo@mecanica.cujae.edu.cu](mailto:mondelo@mecanica.cujae.edu.cu)

Daniel Díaz-Batista, Correo electrónico: [daniel@mecanica.cujae.edu.cu](mailto:daniel@mecanica.cujae.edu.cu)

Hélio-Wiebeck, Correo electrónico: [hwiebeck@usp.br](mailto:hwiebeck@usp.br)

Henry Figueredo-Losada, Correo electrónico: [henryf@usp.br](mailto:henryf@usp.br)

Alexander Alfonso-Alvarez, Correo electrónico: [aalfonsoal@usp.br](mailto:aalfonsoal@usp.br)

Note: the mention of commercial equipment marks, instruments or specific materials obeys identification purposes, there is not any promotional commitment related to them, neither for the authors nor for the editor.

### BÁSCULAS CON JAULA PARA LA GANADERÍA



### BALANZA PARA GANADO MAYOR





ORIGINAL ARTICLE | ARTÍCULO ORIGINAL

# Identification of the Services in Four Integral Managerial Base Units of Technical Services

## *Identificación de los servicios prestados en cuatro Unidades Empresariales de Base Integrales de Servicios Técnicos*

Dr.C. Manuel Fernández-Sánchez<sup>I</sup>, Ing. Jose Suárez-León<sup>II</sup>, Dr.C. Liudmila Shkiliova<sup>III</sup>, Ing. Celandia Urgelles<sup>IV</sup>, Ing. José Ángel Almaguer<sup>V</sup>

<sup>I</sup> Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola, Boyeros, La Habana, Cuba,

<sup>II</sup> Ministerio de la Agricultura, Plaza de la Revolución, La Habana, Cuba;

<sup>III</sup> Universidad Técnica de Manabí, Provincia de Manabí, República de Ecuador.

<sup>IV</sup> Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola, Holguín, Cuba.

<sup>V</sup> Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola, Bayamo, Granma, Cuba.

**ABSTRACT.** Integral Managerial Base Units of Technical Services (UEBIST) were created with the purpose of lending a wide range of services to the units of production of agricultural companies, to individual farmers and to the different agricultural entities existing in the municipalities. However, all necessary conditions that allow them to fulfill this purpose, have not been created yet due to different causes. Starting from this problem, the present work has as objective to identify the main services lent by four UEBIST located in the counties Artemisa, Pinar del Rio, Holguín and Granma and the limitations that prevent them, at present time, to enlarge the range of services. As a result, it was determined that services of soil farming constitute today the main activity and source of revenues in these UEBIST. They show levels of execution of the 74.44, 58.46 and 52.38%, respectively, except the UEBIST of the Agricultural Company Manuel Sanguily, where 40.13% was reached, due to the insufficient availability of agricultural machines to carry out these activities and its faulty state of work capacity. Other important services as machine maintenance and repair represented 5.26, 18.67, 13.50 and 10.22% in the units studied and that indicates a low level, due to the faulty state of the production resources, to technical and organizational problems and to the shortage of material resources.

**Keywords:** agricultural companies, production, organization, resources

**RESUMEN.** Las Unidades Empresariales de Base Integrales de Servicios Técnicos (UEBIST) fueron creadas con el fin de prestar una amplia gama de servicios a las unidades de producción de las empresas agropecuarias, a los productores individuales y los diferentes organismos existentes a nivel municipal. Sin embargo, hasta el presente, aún no han sido creadas todas las condiciones necesarias que les permitan cumplir con este propósito debido a diferentes causas. A partir de esta problemática, el presente trabajo tiene como objetivo identificar los principales servicios prestados por cuatro UEBIST ubicadas en las provincias Artemisa, Pinar del Rio, Holguín y Granma y las limitaciones que les impiden en la actualidad ampliar la gama de servicios. Como resultado, se determinó que los servicios de preparación de tierras, constituyen hoy en día la principal actividad y fuente de ingresos en estas UEBIST con niveles de ejecución del 74,44, 58,46 y 52,38% respectivamente, excepto en la UEBIST de la Empresa Agropecuaria Manuel Sanguily donde se alcanzó el 40,13%, debido a la insuficiente disponibilidad de medios mecanizados para realizar estas actividades y su deficiente estado de capacidad de trabajo. Con relación a otros servicios importantes como son el mantenimiento y la reparación de las máquinas estos representaron en las cuatro unidades estudiadas el 5,26; 18,67; 13,5 y 10,22% lo indica un bajo nivel de ejecución, debido al deficiente estado de los recursos de producción, a problemas técnico-organizativos y la escasez de recursos materiales.

**Palabras clave:** empresas agrícolas, producción, organización, recursos.



## INTRODUCTION

Nowadays, the externalization of tasks has been shown in many sectors, mainly in the small and medium companies. There it, has not only become in a factor of competitiveness, but also, in a growing way, in an important element in their future perspectives, since it allows them to elevate their competitiveness, effectiveness, levels of professionalization and to enlarge their performance environment (Langreo, 2010; Bono, 2010).

In current agriculture, there is a tendency to reduce the costs of operation and to avoid the expensive amortizations of machinery that, in some cases, it would be impossible to redeem during all their useful life. There are many farmers that carry out, with their own means, the most habitual works in their cultivations, like plant cares, irrigation and fertilization; but they hire with companies of agricultural services some works that they cannot carry out as the soil farming, harvesting, packing, forage chopping, pruning, etc. (Bernat, 1998; Guidotti, 1994). These companies do not only work in the provision of agricultural services to producers, but also in technical consultancy and training, being important that the trainer have an appropriate formation and continually develop abilities, knowledge and enterprising abilities to guarantee the correct provision of services in the rural zones (Figuerola *et al*, 2010).

In Cuba, this form of organization took a new impulse since 2009 when the first Integral Managerial Base Unit of Technical Services was created, process that was later generalized to the rest of the country (Linares *et al.*, 2010; Fernandez, 2015; Suarez, 2011). However, these units were located, since the beginning; in the same facilities of old, central workshops belonging to agricultural companies and they have not experienced significant changes, neither structural nor technological in the last 20 years. Because of that their low level of development, if it is compared with the standards of quality, design and construction of the new agricultural machines, tractors and agricultural implements introduced in the agricultural sector through different programs and some international projects to develop mechanization in Cuba.

Many of these new means acquired started to be operated in the productive units of the different agricultural companies, although the majority has passed to be part of the machinery stock of the Integral Managerial Base Units of Technical Services and that has allowed increasing mechanization services to farmers. For example, according to official figures<sup>1</sup>, the increment of service benefits to food producers, as result of use ordered of the new acquired agricultural machines since late 2014 until the present has had some benefits. It has facilitated to service units in Holguín province, to participate in activities linked to soil farming, sowing, plants care and harvest in more than 70 000 hectares, which demonstrates the notable impact of this organizational system.

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad la externalización de tareas se ha constatado en multitud de sectores, sobre todo en las pequeñas y medianas empresas (PYME), en las que se ha convertido no sólo en un factor de competitividad, sino también y de manera creciente, en un elemento importante en sus perspectivas de futuro, dado que les permite elevar su competitividad, su eficacia, sus niveles de profesionalización y ampliar su ámbito de actuación (Langreo, 2002; Bono, 2010).

En la agricultura actual se tiende a reducir los costos de explotación y a evitar las costosas amortizaciones de maquinaria que, en algunos casos, sería imposible de amortizar durante toda su vida útil. Son muchos los agricultores que realizan con sus propios medios las labores más habituales en sus cultivos, como son las atenciones culturales, el riego y la fertilización pero **contratan con empresas prestadoras de servicios agrícolas algunas labores que no pueden realizar** como la preparación de suelos, recolección, empacado, triturado, poda, etc. (Bernat, 1998; Guidotti, 1994). Estas empresas trabajan no solo en la prestación de los servicios agrícolas a los productores, sino también en el asesoramiento técnico y la capacitación, para lo cual es importante que el prestador tenga una formación adecuada y desarrolle continuamente sus habilidades, conocimientos y capacidades emprendedoras para garantizar así la correcta ejecución de los servicios en el medio rural (Figuerola *et al*, 2010).

En Cuba, esta forma de organización tomo un nuevo impulso a partir del año 2009 al crearse las primeras Unidades Empresariales de Base Integrales de Servicios Técnicos, proceso que posteriormente se generalizó al resto del país (Linares *et al.*, 2010; Fernández *et al.*, 2015; Suárez, 2011). Las mismas se crearon sobre la base de las instalaciones de los antiguos talleres y no han experimentado cambios estructurales y tecnológicos significativos en los últimos 20 años, siendo esto una de las causas de su bajo nivel de desarrollo si se compara con los nuevos estándares de calidad, diseño y construcción que muestran las nuevas máquinas agrícolas, tractores y los implementos agrícolas que se han venido introduciendo en el sector agrícola a través de diferentes programas para el desarrollo de la mecanización en Cuba y de algunos proyectos internacionales.

Muchos de los nuevos medios adquiridos están siendo explotados en las unidades productivas de las diferentes empresas agrícolas, aunque el grueso fundamental ha pasado a formar parte del parque mecanizado de las Unidades Empresariales de Base Integrales de Servicios Técnicos, lo que ha permitido incrementar los servicios mecanizados a los productores. Por ejemplo, según cifras oficiales<sup>1</sup> el incremento de la prestación de servicios a colectivos productores de alimentos producto del uso ordenado de los nuevos medios mecanizados adquiridos, desde finales del 2014 hasta el presente, ha posibilitado a las unidades prestadoras de servicio de la provincia Holguín, participar en actividades vinculadas a la preparación de suelos, siembra, atenciones culturales y cosecha en más de 70 000 hectáreas, de ahí el notable impacto de esta forma organizativa.

<sup>1</sup> PLACENCIA, G. Services to the farmers grow. Granma, Havana, May 2, 2017.

Considering the problems linked with the low level of technological development of the Managerial Base Units, Cuban Ministry of Agriculture has carried out several studies to rehabilitate and to modernize these units<sup>2,3</sup>. However, the incidence of different factors, especially those of economic type, have not allowed materializing the results of those studies. Due to that, these units continue working under difficult conditions to guarantee, to short and medium term, the durability and the good state of work capacity of all agricultural machines newly acquired and to guarantee all the types of services which they were conceived for at the beginning<sup>4</sup> (Fernandez, 2011a).

Based on that previously expressed, an identification of the services lent by UEBIST located in Artemisa, Pinar del Rio, Holguín and Granma provinces, is carried out in this work. Main types of services offered are quantified by these units and the main limitations that prevent them to guarantee the machines' work capacity and to enlarge the range of services to be offered to the farmers are determined.

## METHODS

The study was carried out in four Integral Managerial Base Units of Technical Services belonging to Agricultural Companies of Artemisa, Manuel Sanguily, Mayabe and Tabaco Torcido, located in the counties of Artemisa, Pinar del Rio, Holguín and Granma, respectively. The period of observation comprised the year 2014. Information related with the different types of services offered by these units to the productive units was gathered from invoices emitted by them during the period studied. To enter the gathered information two models were designed in Excel format (Tables 1 and 2), which facilitated to organize, process and chart the data.

Atendiendo a los problemas vinculados con el bajo nivel de desarrollo tecnológico de las Unidades Empresariales de Base, el Ministerio de la Agricultura de Cuba ha realizado varios estudios para rehabilitar y modernizar estas unidades<sup>2,3</sup>; sin embargo, la incidencia de diferentes factores, especialmente los de tipo económico, no han permitido materializar los resultados de esos estudios, razón por la cual hasta hoy estas unidades continúan trabajando bajo difíciles condiciones lo que las coloca en una situación desventajosa para garantizar, a corto y mediano plazo, la durabilidad y el buen estado de capacidad de trabajo de todos los nuevos medios mecanizados adquiridos y garantizar todos los tipos de servicios para los cuales fueron concebidas en sus inicios<sup>4</sup> (Fernández *et al.*, 2011a).

Basados en lo anteriormente expresado, en el presente trabajo se realiza una identificación de los servicios prestados por cuatro UEBIST ubicadas en las provincias Artemisa, Pinar del Rio, Holguín y Granma donde se cuantifican los principales tipos de servicios prestados por estas unidades y se determinan las principales limitaciones que les impiden garantizar la capacidad de trabajo de las máquinas y ampliar la gama de servicios a prestar a los productores.

## MÉTODOS

El estudio se realizó en cuatro Unidades Empresariales de Base Integrales de Servicios Técnicos pertenecientes a las Empresas Agropecuarias de Artemisa, Manuel Sanguily, Mayabe y de Tabaco Torcido ubicadas en las provincias de Artemisa, Pinar del Rio, Holguín y Granma respectivamente. El período de observación abarcó el año 2014. Se recopiló la información relacionada con los diferentes tipos de servicios prestados por estas unidades a las diferentes unidades productivas, para lo cual se utilizó como fuente de información las facturas emitidas por dichas unidades durante todo el período estudiado. Para asentar la información recopilada se diseñaron dos modelos en formato Excel (Tablas 1 y 2), lo cual posibilitó organizarla, procesarla y graficarla.

**TABLE 1. Model for Summarizing Information about Services of Mechanization**  
**TABLA 1. Modelo para la recopilación de la información sobre los servicios mecanizados**

No.	Type of service	Worked Area, ha	Productive Unit	Date	Number of the Invoice	Amount
-----	-----------------	-----------------	-----------------	------	-----------------------	--------

**TABLE 2. Model for Summarize Information about Workshop Services**  
**TABLA 2. Modelo para la recopilación de la información sobre los servicios de taller**

No.	Type of Service	Description	Productive Unit	Number of the Invoice	Amount
-----	-----------------	-------------	-----------------	-----------------------	--------

An internal diagnosis was carried out in the four UEBIST by means of the methodology for characterizing the workshops (Fernandez and Shkiliova, 2011, 2013; Rosales, 2016; Castell *et al.*, 2015) focused to the evaluation of current state of the

Se realizó un diagnóstico interno en las cuatro UEBIST mediante la metodología para la caracterización de los talleres (Fernández *et al.*, 2012, 2013; Rosales, 2016; Castell *et al.*, 2015) dirigida a evaluar el estado de los recursos de producción y la

<sup>2</sup> Empresa Nacional de Proyectos Agropecuarios. Estimates of inversion for the Units of Technical Services, La Habana, 2009.

<sup>3</sup> Ministry of Agriculture. National Diagnosis of Mechanization, La Habana, 2009.

<sup>4</sup> FERNÁNDEZ, M.; SHKILIOVA, L.: "The state of the production means and the level of the technical services and their incidence on the maintenance indicators". [On-line] May, 2006, Available in: [www.fao.org/index\\_es.htm](http://www.fao.org/index_es.htm) [Consulted: June 2010].

production resources and the determination of the real potentialities of these units to fulfill the different technical activities.

## RESULTS AND DISCUSSION

In this part, the results of processing the information related with the different types of services performed by the Integral Managerial Base Units of Technical Services selected are presented.

Figure 1 shows how the benefits from the services provided in these units (by type), fluctuate during the year 2014. As it is appreciated, in the UEBIST of Güira de Melena, Manuel Sanguily, Tabaco Torcido and Mayabe, the type of services of mechanization prevailed (2407; 147; 441 and 1407 activities respectively), with 79.20; 62.55; 57.72 and 83.70% in relation to the total of the services provided, what demonstrates that this type of service is the main activity in these units.

Most of these services corresponds to agricultural works related to soil farming (plowing, tier, subsoiling, tiller, etc) in the UEBIST of Güira de Melena, Tabaco Torcido and Mayabe with percentages of execution of 74.44, 58.46 and 52.38%, respectively, and increasing incomes to the end of the year 2014 of 468 794.7; 24 960.4 and 51 820.83 pesos.

To guarantee performing these activities they have a set of agricultural machines organized in platoons, as it is illustrated in Table 3.

In the UEBIST of the Agricultural Company Manuel Sanguily this correlation behaved in a different way, with 40.13% for the services of soil tillage and the rest to other works, fundamentally the transportation of animals, with 59.87% (Figure 2). The insufficient availability of machinery and its faulty state of work capacity preventing to fulfill the demand of this type of service (of the eight tractors, only three Belarus tractors 800 are capable to carry out the activities of soil plowing).

determinación de las potencialidades reales de estas unidades para cumplir con las diferentes actividades técnicas.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este acápite se presentan los resultados del procesamiento de la información relacionada con los diferentes tipos de servicios prestados por las Unidades Empresariales de Base Integrales de Servicios Técnicos seleccionadas para realizar la investigación.

En la Figura 1 se muestra como se comportó la prestación de los servicios en estas unidades (por tipo) durante el año 2014. Como se aprecia, en las UEBIST de Güira de Melena, Manuel Sanguily, Tabaco Torcido y Mayabe predominaron los servicios de tipo mecanizados (2 407; 147; 441 y 1 407 actividades respectivamente) con un 79.20, 62.55, 57.72 y 83.70% con relación al total de los servicios prestados, lo que demuestra que este tipo de servicio es la principal actividad en estas organizaciones. Del total de estos servicios, la mayor parte corresponden a labores agrícolas relacionadas con la preparación de suelos (rotura, cruce, grada, subsolación, tiller, etc) en las UEBIST de Güira de Melena, de Tabaco Torcido y Mayabe con porcentajes de ejecución del 74,44%; 58,46% y 52,38% respectivamente e ingresos ascendentes, al cierre del año 2014, de 468 794,7; 24 960,4 y 51 820,83 pesos.

Para garantizar la ejecución de estas actividades cuentan con un parque mecanizado, organizado en pelotones, tal y como se ilustra en la Tabla 3.

En la UEBIST de la Empresa Agropecuaria Manuel Sanguily esta correlación se comportó de manera diferente, con un 40,13% para los servicios de preparación de tierras y el resto a otras labores, fundamentalmente la transportación de animales, con un 59,87% (Figura 2). La insuficiente disponibilidad de medios mecanizados y su deficiente estado de capacidad de trabajo (de los ocho tractores existentes, solo tres tractores Belarus 800 están aptos para realizar las actividades de preparación de suelos) impiden cumplir con la demanda de este tipo de servicio.

TABLE 3. Composition of Agricultural Machines  
TABLA 3. Composición del parque mecanizado

Name of the Unit	Tractors	Implements	Other Agricultural Machines
UEBIST Tabaco Torcido	15	27	-
UEBIST Güira de Melena	25	33	26
UEBIST Manuel Sanguily	8	2	-
UEBIST Mayabe	10	13	2

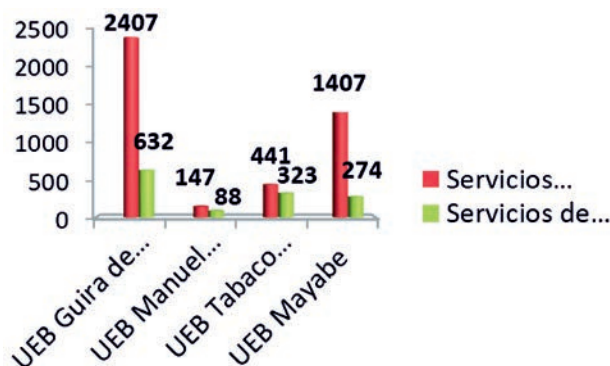


FIGURE 1. Types of Services  
FIGURA 1. Tipos de servicios prestados.

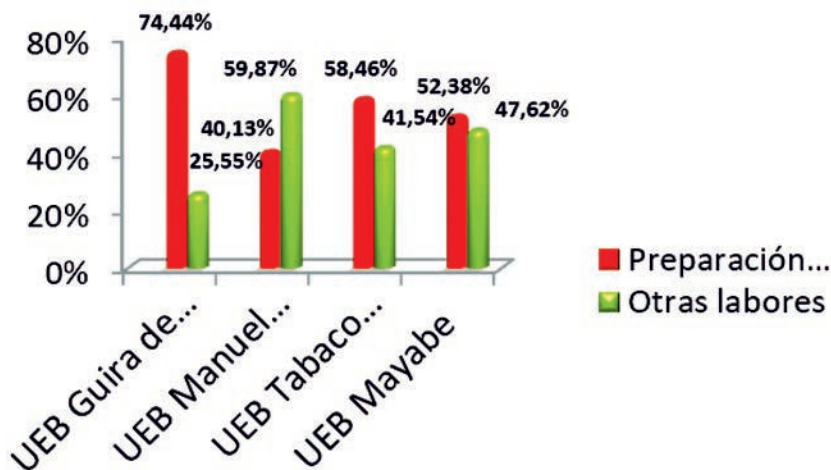


FIGURE 2. Distribution of Services  
 FIGURA 2. Distribución de los servicios mecanizados

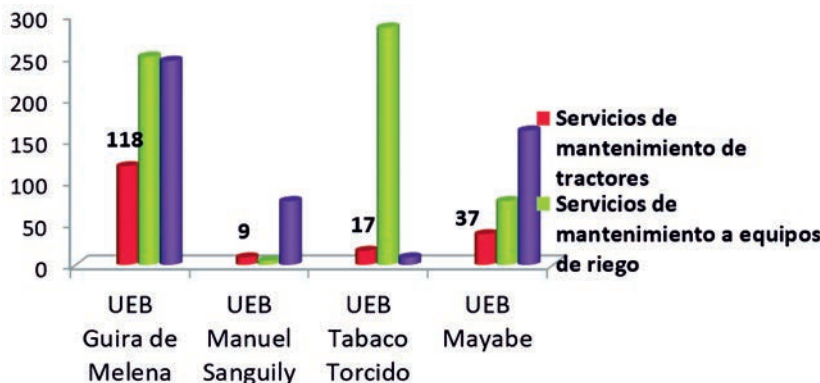


FIGURE 3. Distribution of Workshop Services  
 FIGURA 3. Distribución de los servicios de taller.

In relation to workshop services, Figure 3 illustrates their annual distribution in the four analyzed UEBIST.

As it is appreciated, the services of maintenance and repair of tractors and agricultural implements were the least performed when being compared with the rest of the services (maintenance to the irrigation equipment and other services). In the UEBIST of the companies Tabaco Torcido, Güira de Melena, Manuel Sanguily and Mayabe, the services of maintenance and repair represented the 5,46; 19,24; 10 and 13,50%, respectively, with regard to the total of the workshop services, what is considered very low.

When analyzing the different factors that affect in a direct way on the level of carrying out the maintenance and repair services of the machines in the units, production resources were determined as decisive factors, given that the time and quality of the services offered to users greatly depend on them. Among the elements to be considered as production resources are means of work (technological equipment, tool machines, hand tools, measuring instruments), and constructive infrastructure, workers, technical and normative documentation, organization of the works, etc.

The results reached in the diagnosis of these resources in the units studied, are shown in Tables from 4 to 9.

Con relación a los servicios de taller, la Figura 3 ilustra su distribución anual en las cuatro UEBIST analizadas.

Como se aprecia, los servicios de mantenimiento y reparación de tractores e implementos agrícolas fueron los menos ejecutados al compararse con el resto de los servicios prestados (servicios de mantenimiento a los equipos de riego y otros servicios). En las UEBIST de las Empresas de Tabaco Torcido, Agropecuarias de Güira de Melena, Manuel Sanguily y Mayabe, estos servicios representaron el 5,46, 19,24, 10% y el 13,50% respectivamente con respecto al total de los servicios de taller, lo que se considera muy bajo.

Al analizar los diferentes factores que inciden de manera directa sobre el nivel de ejecución de los mantenimientos y reparaciones de las máquinas en las unidades prestadoras de este tipo de servicios, se identificó como factor determinante a los recursos de producción, dado de que su estado depende en gran medida de que se pueda satisfacer en tiempo y con la calidad requerida, la demanda de los usuarios. Entre los aspectos a considerar dentro de los recursos de producción están los medios de trabajo (equipamiento tecnológico, máquinas herramientas, herramientas de mano, equipos de medición), la infraestructura constructiva, el capital humano, la documentación técnica y normativa, organización de los trabajos, etc.

Los resultados alcanzados en el diagnóstico de estos recursos en las unidades objeto de estudio se muestran en las Tablas 4...9.



**TABLE 4. Distribution of Maintenance Personnel**  
**TABLA 4. Distribución del personal de mantenimiento**

Name of the Unit	Maintenance of Tractors and Agricultural Machines			Maintenance of Irrigation Equipment		
	Mechanics	Welders	Assitants	Mechanics	Welders	Assitants
Tabaco Torcido	0	1	0	3	1	2
Güira de Melena	4	0	0	2	1	3
Manuel Sanguily	1	1	0	1	0	2
Mayabe	2	0	0	1	1	0

As it is appreciated in the previous table, there is a low potential of personnel dedicated to maintenance and repair of tractors and agricultural machines, mainly in the UEBIST of the Companies Tabaco Torcido and Manuel Sanguily, what constitutes an obstacle to offer this type of service to clients that demand them. This, jointly with the low availability of material resources, lead to the fact that in general clients do not request this service and carry out maintenances and repairs of their agricultural machines with their own resources and under conditions not always suitable for their performing. In the case of the stock of tractors and existent agricultural machines in these units, these activities are carried out fundamentally by the own operators without a strict control over their work.

As for the personnel dedicated to maintenance and repair of irrigation equipment, the potential is higher in the four units, which is in correspondence with the level reached in performing this type of service, as it is appreciated in Figure 3.

Como se aprecia en la tabla anterior, existe un bajo potencial en cuanto al personal dedicado al mantenimiento y la reparación de tractores y máquinas agrícolas, sobre todo en las UEBIST de las Empresas de Tabaco Torcido y Agropecuaria Manuel Sanguily, lo que constituye en la actualidad una limitante para la prestación de este tipo de servicio a los diferentes usuarios que así lo demandan. Esto, conjuntamente con la baja disponibilidad de recursos materiales, conlleva a que por lo general los usuarios no soliciten este servicio y realicen los mantenimientos y las reparaciones de su maquinaria con sus propios recursos y en condiciones no siempre idóneas para su ejecución. En el caso del parque de tractores y máquinas agrícolas existente en estas unidades, estas actividades son realizadas fundamentalmente por los propios operadores sin que exista un estricto control sobre las mismas.

En cuanto al personal dedicado al mantenimiento y la reparación de los equipos de riego, el potencial es mayor en las cuatro unidades, lo cual está en correspondencia con el nivel alcanzado en la ejecución de este tipo de servicio, tal y como se aprecia en la Figura 3.

**TABLE 5. Characterization of Personnel for Maintenance**  
**TABLA 5. Caracterización del personal de mantenimiento**

Name of the Unit	Total	Age					School Level		Professional Level				
		17-30	31-40	41-50	51-60	Over 60	Primary	Medium	Pre-university	University graduate	Technical	Superior	Not qualified
Tabaco Torcido	7	-	-	5	1	1	3	4	-	-	3	-	4
Güira de Melena	10	2	1	4	2	1	2	8	-	-	7	-	3
Manuel Sanguily	5	-	2	2	1	-	3	2	-	-	3	-	2
Mayabe	4	-	-	2	2	-	2	2	-	-	2	-	-

When characterizing the maintenance personnel, it was determined that in all the cases, the greater percentage concentrates on the ranges of ages among 41 to 50 years old (50.0%) and the 51 to 60 years old (22.72%), what is considered high. With regard to their school and professional level, 36.7% reached primary and 63.7% medium level. A 59.9% reached the level of technician and 41% does not have qualification.

Tables 6 and 7 show the information related to the existent workspaces in those units, the general constructive state and the main problems of this nature.

Al caracterizar el personal de mantenimiento, se determinó que en todos los casos el mayor por ciento del mismo se concentra en los rangos de edades comprendidos entre los 41-50 años (50,0%) y los 51-60 años (22,72%), lo que se considera elevado. Con respecto a su nivel escolar y profesional, el 36,7% venció la enseñanza primaria y el 63,7% el nivel medio. El 59,9% alcanzó el nivel profesional de técnico medio y el 41% no tiene calificación.

La Tablas 6 y 7 muestran la información relacionada con las áreas de trabajo existentes en las unidades estudiadas, el estado constructivo general y los principales problemas de esta índole.

**TABLE 6. Existent Workspaces in the UEBIST of Tabaco Torcido, Güira de Melena and Manuel Sanguily**  
**TABLA 6. Cantidad de áreas de trabajo existentes en las UEBIST de Tabaco Torcido, Güira de Melena y Manuel Sanguily**

Name of the Unit	Type of Workshop	Work Areas																					
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Tabaco Torcido	Mixed	2	1	0	2	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	2	0	1	1	1
Güira de Melena	Mixed	2	1	0	1	2	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	0	5	1	1	0	1
Manuel Sanguily	Machinery	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Mayabe	Machinery	1	0	0	1	0	0	1	1	1		1	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1

Legend. 1. Maintenance and repair of tractors, 2. Maintenance and repair of implements, 3. Maintenance and repair of means of transport, 4. Maintenance and repair of irrigation equipment, 5. Machinery pool, 6. Washing area, 7. Vulcanization, 8. Workshop machinery, 9. Welding, 10. Electricity, 11. Warehouse of pieces, 12. Warehouse and serving of lubricants, 13. Hand tools, 14. Repair of radiators, 15. Repair of pieces, 16. Technical diagnose, 17. Blacksmithing, 18. Offices, 19. Kitchen-dining room, 20. Bathrooms, 21. Lockers, 22. Entrance control room.

**TABLE 7. Constructive State of the Workspaces**  
**TABLA 7. Estado constructivo de las áreas de trabajo**

Name of the Unit	Number of Work Areas	General State of Installations	Main Problems
Tabaco Torcido	18	Not good	Repair and/or substitution of the carpentry in all workspaces, waterproof the parking area, repair electric installation, repair roofs of the whole facility, repair hydraulics, repair floors.
Güira de Melena	23	Good	Repair electric installation, especially in the area of the main warehouse; rehabilitate the hydraulic system.
Manuel Sanguily	2	Not good	Repair the roof of the workshop building.
Mayabe	10	Not good	There are problems with the roof of some areas, the floors and the electric installations.

The main areas for maintenance and repair of agricultural technique exist, however, the lack of some important areas is observed as they are those dedicated to maintenance and repair of means of transportation, repair of electric components, repair of radiators, repair of complex components, technical diagnosis, smithy, kitchen-dining room and lockers for the workers. In the peculiar case of the Agricultural Company Manuel Sanguily the rehabilitation of the local currently occupied by the UEBIST should be undertaken, since it does not have neither the necessary minimum conditions to carry out the works of technical assistance to the machinery nor to guarantee its correct state of work capacity.

The general state of the facilities occupied by the UEBIST of the Companies Tabaco Torcido, Manuel Sanguily and Mayabe is classified as not good due to the identified constructive problems.

In Table 8, the information related with the readiness of the mensuration instruments is shown, hand tools, technological equipment and scheme them tools and their state of the work capacity.

By means of the analysis of the information, it is determined:

The 79.2% of measuring instruments have a failing work capacity. The existent denominations are notably scarce. It was also determined that they do not have high levels of precision due to that they have not been gauged.

Around 50% of the reported hand tools are in good state of work capacity, although their quantities and sorts are

El estado general de las instalaciones ocupadas por las UEBIST de las Empresas de Tabaco Torcido, Agropecuarias Manuel Sanguily y Mayabe se cataloga como regular debido a los problemas constructivos identificados.

En la Tabla 8 se muestra la información relacionada con la disponibilidad de los instrumentos de medición, herramientas de mano, equipamiento tecnológico y las máquinas herramientas y su estado de capacidad de trabajo. (Tabla 8)

Mediante el análisis de la información se determinó lo siguiente:

Los instrumentos de medición no están calibrados, como promedio el 79,2% de estos se encuentra en mal estado de capacidad de trabajo, aunque en el caso particular de las UEBIST de Tabaco Torcido y Mayabe la totalidad de los mismos está en mal estado. En todas las unidades estudiadas las denominaciones son notablemente escasas.

El 49,9% de las herramientas de mano reportadas están en buen estado de capacidad de trabajo, aunque sus cantidades y surtidos son muy escasos, específicamente en la Empresa Agropecuaria Manuel Sanguily. En la UEBIST de las Empresas de Tabaco Torcido no se reporta su existencia. En estos dos sitios los trabajos se realizan con herramientas que pertenecen a los operadores de la maquinaria.

El 57,3% del equipamiento tecnológico existente en las cuatro unidades posee un estado de capacidad de trabajo que se cataloga como malo y en general las denominaciones existentes son escasas y de tecnología atrasada. En el caso

very scarce, specifically in Unit Manuel Sanguily. In Unit Tabaco Torcido, their existence is not reported. In these two places, the works are carried out with tools belonging to machinery operators.

The 57.3% of the existent technological equipment in the four units possesses a state of work capacity that is classified as bad and in general the existent specifications are scarce and of obsolete technology. In the peculiar case of the Unit Manuel Sanguily, the existence of these means is very scarce and they have a state of work capacity classified as bad.

Although 53.0% of the machine tools have a good state of work capacity, their levels of precision are low due to the high number of years of operation and to their faulty maintenance. There is a lack of devices and of cutting tools, what does not allow executing every type of works.

particular de las Empresas Agropecuaria Manuel Sanguily y Mayabe, el 100 y el 60% tienen un estado de capacidad de trabajo clasificado como malo. En ambas la existencia de estos medios es muy insuficiente.

En sentido general las denominaciones de máquinas herramientas son muy escasas especialmente en la Empresa de Tabaco Torcido donde solo se reporta una denominación. En las UEBIST de las Empresas Agropecuarias de Güira de Melena, Manuel Sanguily y Mayabe el 71,4, el 66,4 y el 50,0% de las máquinas herramientas tiene un mal estado de capacidad de trabajo. En su totalidad los niveles de precisión son bajos debido al elevado número de años de explotación a que han sido sometidas y a su deficiente mantenimiento. Existe carencia de dispositivos y de herramental de corte, lo que no permite ejecutar todo tipo de trabajos.

**TABLE 8. State of Work Capacity of the Work Means**  
**TABLA 8. Estado de capacidad de trabajo de los medios de trabajo**

Name of the Unit	Measuring Instruments				Hand Tools				Technological Equipment				Machine Tools			
	Specifications		Work Capacity,%		Specifications		Work Capacity,%		Specifications		Work Capacity,%		Specifications		Work Capacity,%	
	To identify	In existence	Good	Bad	To identify	In existence	Good	Bad	To identify	In existence	Good	Bad	To identify	In existence	Good	Bad
Tabaco Torcido	2	0	100	0	0	0	11	87	13	1	100	0				
Güira de Melena	3	33,3	66,4	12	83,3	16,6	18	44	56	7	28,6	71,4				
Manuel Sanguily	<b>12</b>	2	50	50	<b>16</b>	3	66,4	33,3	<b>30</b>	6	0	100	<b>12</b>	3	33,3	66,4
Mayabe	2	0	100	6	50	50	5	40	60	2	50	50				
Totales	9	20,8	79,2	21	49,9	50,1	40	42,7	57,3	13	53,0	47,0				

Table 9 shows the information obtained in the four units regarding technical documentation, means for the machinery work control and planning and organization of the maintenance works. Starting from this information the following was observed:

La Tabla 9 muestra la información recopilada en las cuatro unidades analizadas respecto a la documentación técnica, los medios para el control del trabajo de la maquinaria y la planificación y organización de los trabajos de mantenimiento.

**TABLE 9. Technical Documentation, Means of Control, Planning and Organization of Maintenance Works**  
**TABLA 9. Documentación técnica, medios de control, planificación y organización de los trabajos de mantenimiento**

Technical and Normative Documentation	Tabaco Torcido	Güira de Melena	Manuel Sanguily	Mayabe
Guides of technical maintenance for make of tractors	Do not exist for all machines	Do not exist for all the makes in use	Do not exist for all the makes in use. They are not in hands of the mechanics	Do not exist for all the makes in use. They are ignored by the mechanics
Charts of periodicity for the maintenance and repair	Do not exist	Exist for all the makes in use, but instructions are not fulfilled.	Exist for all the makes in use, but instructions are not fulfilled.	Exist for all the makes in use, but instructions are not fulfilled.
Technological charts for the repairs by make of tractor	Do not exist	Do not exist	Do not exist	Do not exist

Technical and Normative Documentation	Tabaco Torcido	Güira de Melena	Manuel Sanguily	Mayabe
Lists of spare parts for repairing the different tractor makes	Do not exist	Do not exist	Do not exist	Do not exist
Manuals of operation of the different tractor makes	Do not exist	Do not exist	Do not exist	Exist for some makes of tractors
Technical information	Exists	Exists	Exists	Exists
<b>Means of control of the machinery work</b>				
Charts of fuel and lubricants consumption at the end of the cycle.	Used	Used	Used	Used
Order of work to the workshop	Used, but not in the official form	Used	Not used	Not used
Daily report of the work of the machinery	Not used	Used, but not in the official form	Used, but not in the official form	Used, but not in the official form
<b>Planning and Organization of the Works and Indicators of Management</b>				
Planning	Operative by means of the charts of fuel consumption of each tractor.	Operative by means of the charts of fuel consumption of each tractor.	Operative by means of the charts of fuel consumption of each tractor.	Operative by means of the charts of fuel consumption of each tractor.
Organization of the productive time	Not organized	Not organized	Not organized	Not organized
Indicator Mean time between failures	Not calculated	Not calculated	Not calculated	Not calculated
Indicator Mean time of recovery of work capacity.	Not calculated	Not calculated	Not calculated	Not calculated
Indicator Availability of machines	Calculated at the end of the month	Calculated at the end of the month	Calculated at the end of the month	Calculated at the end of the month

Technical documentation is scarce and, in general, maintenance workers do not know it.

The main means of control used is the card of fuel consumption at the closing of the cycle. The rest of the means does not obey the official forms. Gathered information does not have use value.

Planning of maintenances is eminently operative, and does not allow organizing the productive process.

There are not indicators that facilitate to evaluate maintenance and repair activity. Only at the end of every month the indicative coefficient of technical readiness is calculate by means of a method of momentary observation.

## CONCLUSIONS

- As result of annual evaluation of the services lent by the four Integral Base Units of Technical Services studied, it was determined that the services of agricultural mechanization constitute the main activity and source of revenues in these organizations in the current moment. Most of these services correspond to agricultural works related with soil tillage.
- There is a low level of execution of technical maintenance and repair services to tractors, machines and agricultural implements if they are compared with the total of the services offered.

A partir de la información reflejada en la tabla anterior se observó:

La documentación técnica es escasa y en sentido general no es del dominio de los ejecutores de los trabajos de mantenimiento.

El principal medio de control utilizado es la tarjeta de consumo de combustible con el cierre de ciclo. El resto de los medios no obedecen a los modelos oficiales. La información recopilada no tiene valor de uso.

La planificación de los mantenimientos es eminentemente operativa, lo cual no permite organizar el proceso productivo.

No existen indicadores que posibiliten evaluar la actividad de mantenimiento y la reparación. Sólo se calcula al final de cada mes el indicador coeficiente de disponibilidad técnica mediante un método de observación momentánea.

## CONCLUSIONES

- Se identificaron los servicios prestados por las cuatro Unidades Empresariales de Base Integrales de Servicios Técnicos estudiadas. Se determinó que los servicios mecanizados constituyen la principal actividad y fuente de ingresos en las UEBIST objeto de estudio, con niveles de ejecución del 74,44%, 58,46% y 52,38% respectivamente, excepto en la UEBIST de la Empresa Agropecuaria Manuel Sanguily donde se alcanzó el 40,13%, debido a la insuficiente disponibilidad de medios mecanizados para realizar estas actividades y su deficiente estado de capacidad de trabajo.
- Existe un bajo nivel de ejecución de los servicios de mantenimientos técnicos y reparaciones de los tractores, máquinas e



- One of the restrictions that prevents diversifying and increasing services to producers in those units is the current state of their production resources. Because of that, they are not prepared enough to assume all types of services, especially for which they were created, like those related with maintenance and repair of machines as key elements to guarantee the good state of their capacity and the sustainability and quality of agricultural mechanization services.
- implementos agrícolas. En las Empresas de Tabaco Torcido, Agropecuarias de Güira de Melena, Manuel Sanguily y Mayabe, estos representaron el 5,46, 19,24, 10% y el 13,50% respectivamente con respecto al total de los servicios prestados.
- El estado actual de sus recursos de producción de las UE-BIST es la limitante principal que impide diversificar y ampliar los servicios de las unidades, acorde con su propósito de creación, especialmente los relacionados con el mantenimiento y las reparación de las máquinas, elementos claves para garantizar el buen estado de capacidad de las mismas; la sostenibilidad y calidad de los servicios mecanizados.

## REFERENCIAS/REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BANCHERO, J.A.: "Los contratistas de servicios de maquinaria agrícola en el partido de Chivilcoy (provincia de Buenos Aires)", *Apuntes Agroeconómicos*, 15: 1-8, 2015, ISSN: 1667-3212.
- BERNAT, J.C.: "Las empresas de servicios de maquinaria agrícola", *Vida rural*, (78): 52-54, 1998, ISSN: 1133-8938.
- BONO, J.R.G.: "La agricultura a tiempo parcial y la externalización de servicios agrarios como vehículo del cambio estructural", *Revista Española de Estudios Agrosociales y Pesqueros*, (225): 13-45, 2010, ISSN: 1575-1198.
- CASTELL, S.; MIRANDA, A.; DÍAZ, G.; PÉREZ, N.: "Análisis de los servicios de mecanización en la Empresa Agroindustrial de Granos «Los Palacios»", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 24(4): 45-51, 2015, ISSN: 2071-0054.
- FERNÁNDEZ, M.; LORA, D.; SHKILIOVA, L.: "Análisis de las potencialidades de una unidad prestadora de servicios de mecanización y de asistencia técnica", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 22(Suppl.): 77-80, 2013, ISSN: 2071-0054.
- FERNÁNDEZ, M.; SHKILIOVA, L.; NORES, Y.; RÍOS, A.: "Estudio para la implementación de acciones estratégicas en la Unidad Empresarial de Base Integral de Servicios Técnicos de la Empresa Agropecuaria Güira de Melena", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 20(1): 66-71, 2011, ISSN: 2071-0054.
- FERNÁNDEZ, M.; SHKILIOVA, L.; SUÁREZ, J.: *Tracción animal y labores manuales*, Ed. Instituto de Mecanización Agrícola (INFOIIMA), La Habana, Cuba, 2012, ISBN: 978-959-285-014-9.
- FERNÁNDEZ, S.M.; SHKILIOVA, L.; LORA, D.: "La gestión en los talleres de mantenimiento y reparación de la maquinaria agrícola de Cuba", *Revista Ingeniería Agrícola*, 5(3): 53-56, 2015, ISSN: 2227-8761.
- FIGUEROA, B.; FIGUEROA, K.A.; CARMENADO, I. de los R.; SANDOVA, B.F.; HERNÁNDEZ, F.: "La empresarialidad en prestadores de servicios profesionales agropecuarios del estado de Campeche, México", *Ra Ximhai: revista científica de sociedad, cultura y desarrollo sostenible*, 6(3): 355-364, 2010, ISSN: 1665-0441.
- GUIDOTTI, R.: "Empresas de servicios de maquinaria agrícola", *Vida rural*, (1): 48-49, 1994, ISSN: 1133-8938.
- LANGREO, N.A.: "La externalización del trabajo agrario y las empresas de servicios a la agricultura", *Economía Agraria y Recursos Naturales*, 2(1): 45-67, 2002, ISSN: 1578-0732.
- LINARES, E.; FERNÁNDEZ, M.; LORA, D.; SUÁREZ, J.; SALVÁ, R.; REY, R.: *Procedimientos para la creación de las unidades empresariales de base de servicios técnicos*, Ed. Instituto de Mecanización Agrícola (INFOIIMA), La Habana, Cuba, 2010, ISBN: 978-959-285-007-1.
- ROSALES, N.L.; TORRES, F.; SHKILIOVA, L.; FERNÁNDEZ, M.; CUN, R.: "Diagnóstico de los recursos de producción en un taller de atención a productores agropecuarios", *Revista Ingeniería Agrícola*, 6(1): 3-8, 2016, ISSN: 2227-8761.
- SUÁREZ, J.; RÍOS, A.; LINARES, E.: "Unidades integrales de servicios técnicos de maquinaria agrícola", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 20(2): 15-19, 2011, ISSN: 2071-0054.

**Received:** 28/01/2017.

**Approved:** 15/06/2017.

Manuel Fernández Sánchez, Inv. Auxiliar, Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric), Boyeros, La Habana, Cuba, E-mail: [jdptomecan@iagric.cu](mailto:jdptomecan@iagric.cu)

Jose Suárez León, E-mail: [jdptomecan@iagric.cu](mailto:jdptomecan@iagric.cu)

Liudmila Shkiliova, E-mail: [liudmilashkiliova14@gmail.com](mailto:liudmilashkiliova14@gmail.com)

Celandia Urgelles, E-mail: [iagric@dlg.hlg.minag.gob.cu](mailto:iagric@dlg.hlg.minag.gob.cu)

José Ángel Almaguer, E-mail: [iagric@grm.minag.cu](mailto:iagric@grm.minag.cu)

Note: the mention of commercial equipment marks, instruments or specific materials obeys identification purposes, there is not any promotional commitment related to them, neither for the authors nor for the editor.



## USO DE LA ENERGÍA EN LA AGRICULTURA *USE OF THE ENERGY IN AGRICULTURE*



ORIGINAL ARTICLE | ARTÍCULO ORIGINAL

# Energy-Economic Evaluation in the Production of Canned Tuna in Ecuadorian Industry

## *Evaluación energético-económica en la producción de atún en conservas en la industria ecuatoriana*

M.Sc. Ángel Rafael Arteaga-Linza<sup>I</sup>, Dr.C. María Isabel Fernández-Parra<sup>II</sup>, Dr.C. Ángel Luis Brito-Sauvanell<sup>II</sup>

<sup>I</sup> Universidad Técnica de Manabí, Provincia de Manabí, República de Ecuador.

<sup>II</sup> Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, Cuba.

**ABSTRACT.** The lack of indicators for the energetic - economic evaluation of the canned tuna canning process motivated the present work aimed at establishing those indicators that contribute to the establishment of benchmarking that serve as reference for the evaluation of this process. The methodology used combined, from the literature consulted, a method to determine the energetic efficiency of a pyrotubular steam generator with a procedure to calculate the cost of saturated steam generated by the system, and finally adapts the proposal of key indicators of performance for the improvement of an industry performance, establishing the indicators for the energetic - economic evaluation of the process under study. The main results showed that the consumption of specific steam was 1,142 t of steam/t of raw material, with a specific cost of 27,074 USD/t of raw material, concentrating 72.67% of steam consumption in cooking and sterilization processes. The implementation of the proposed indicators corroborated the relevance.

**Keywords:** tuna, steam, cooking, sterilization, energetic-economic indicators.

**RESUMEN.** La carencia de indicadores para la evaluación energético-económica del proceso de elaboración de conservas de atún en latas, motivó el presente trabajo dirigido a establecer indicadores energético - económicos que contribuyan al establecimiento de benchmarking que sirvan de referencia para la evaluación de dicho proceso. La metodología utilizada combinó, a partir de la literatura consultada, un método para determinar la eficiencia energética de un generador de vapor pirotubular con un procedimiento para el cálculo del costo del vapor saturado generado por el sistema, y finalmente adapta la propuesta de indicadores claves de desempeño para la mejora del rendimiento de una industria, estableciendo los indicadores para la evaluación energético - económica del proceso objeto de estudio. Los principales resultados arrojaron que el consumo de vapor específico fue de 1 142 t de vapor/ton de materia prima, con un costo específico de 27,074 \$/t de materia prima, concentrándose el 72,67% del consumo de vapor en los procesos de cocinado y esterilizado. La implementación de los indicadores propuestos corroboró su pertinencia.

**Palabras clave:** atún, vapor, cocinado, esterilizado, indicadores energético-económicos.

### INTRODUCTION

The fishing sector is particularly important in developing countries, as it represents the livelihood of 8% of the world's population (Avadí and Fréon, 2013). It is estimated that 56.6 million people were employed in the primary sector of capture fisheries and aquaculture in 2014, of which 36% were full time, 23% part-time and the rest were occasional fishermen or unspecified situation (FAO, 2016).

Fisheries and aquaculture sector accounted for 12% of Ecuador's exports, becoming the second exportable product

### INTRODUCCIÓN

El sector de la pesca es particularmente importante en los países en vías de desarrollo, ya que representa el medio de vida del 8% de la población mundial (Avadí y Fréon, 2013). Se estima que 56,6 millones de personas trabajaban en el sector primario de la pesca de captura y la acuicultura en 2014, de los cuales el 36% lo hacía a tiempo completo, el 23% a tiempo parcial y el resto eran pescadores ocasionales o de situación sin especificar (FAO, 2016).

El sector de la pesca y la acuicultura representaron para la República de Ecuador el 12% de sus exportaciones, convirtiéndose en

after oil in the country (Avadí *et al.*, 2015). Ecuador is among the top ten countries in the world in catch of tuna, and is the second largest tuna processor, after Thailand, with almost 12% of annual global production. From 2014, 27 tuna processing plants operate in the country according to the Vice Ministry of Aquaculture and Fisheries (Pacheco, 2013), located in two provinces of the coast: 81% in Manabí, specifically in the city of Manta and 19% in Guayas, in the cities of Guayaquil and Posorja, a number that has increased since in 2008 there were only 18 plants (Avadí *et al.*, 2015).

In the canning process of canned tuna, steam is the most suitable means of transporting heat demanded by different processes, such as cooking, packaging, sterilizing, labeling and packaging, to convert tuna into a finished product (Avadí *et al.*, 2015). Factors such as the efficiency and productivity of the equipment and machines that generate and consume it, will directly determine the cost of the ton of steam produced and the ton of raw material processed (Jimenez *et al.*, 2016).

In the literature reviewed, different researches have been carried out which show the importance of the energetic-economic evaluation of the machinery used in agricultural processes (De las Cuevas *et al.*, 2010; García de la Figal *et al.*, 2012; Pereira *et al.*, 2015), however, about the process of canning tuna, no studies were found that define or present values of steam consumption/t of total processed tuna, nor in each stage of the process, which is indispensable in studies of optimization, design and control of this type of industrial processes, not only for the reduction of the use of energy carriers, but also for emissions of polluting gases, which today represents a problem that worries humankind.

For this reason, the objective of this work is to establish a set of energetic - economic indicators for the tuna canning process, which contributes to the establishment of benchmarking to serve as a reference for their energetic - economic evaluation with a view to continuous improvement thereof.

This work is part of a project financed by the Ecuadorian government through its scholarship program of the National Secretariat of Science and Technology and Innovation (SENESCYT), and was carried out in one of the most important transnational canned tuna processing companies in the Republic of Ecuador.

## METHODS

The study was carried out in one of the largest canned tuna processing companies in the Republic of Ecuador, which has a production capacity of 12,000 boxes and exports its products to more than 30 countries in South America and Europe. Figure 1 shows the process map for the preparation of canned tuna of this company, in which the subsystems that integrate the system are clearly differentiated: steam generation and production process.

The experimental data were taken in September 2015 for 15 days. For the determination of a set of energetic - economic indicators with a view to the establishment of benchmarking

el segundo reglón exportable después del petróleo en el país (Avadí *et al.*, 2015). El Ecuador se encuentra entre los diez principales países del mundo en captura de atún, y es el segundo mayor procesador de atún, después de Tailandia, con casi el 12% de la producción global anual. A partir del 2014, 27 plantas procesadoras de atún operan en el país de acuerdo al Viceministerio de Acuicultura y Pesca (Pacheco, 2013), localizadas en dos provincias de la costa: el 81% en Manabí, específicamente en la ciudad de Manta y el 19% en Guayas, en las ciudades de Guayaquil y Posorja, número que se ha incrementado ya que en el 2008 solo existían 18 plantas (Avadí *et al.*, 2015).

En el proceso de elaboración de conservas de atún en latas, el vapor constituye el medio más idóneo de transporte del calor demandado por los diferentes procesos, tales como cocción, empaque, esterilizado, etiquetado y encartonado, para convertir al atún en un producto terminado (Avadí *et al.*, 2015). Factores como la eficiencia y productividad de los equipos y máquinas que lo generan y consumen, determinarán de manera directa el costo de la tonelada de vapor producido y de la tonelada de la materia prima procesada (Jiménez *et al.*, 2016).

Dentro de la bibliografía revisada se han llevado a cabo diferentes investigaciones que dan cuenta de la importancia de la evaluación energético-económica de la maquinaria utilizada en los procesos agrícolas (de las Cuevas *et al.*, 2010; García de la Figal *et al.*, 2012; Pereira *et al.*, 2015), sin embargo, sobre el proceso de elaboración de conservas de atún en latas, no se encontraron trabajos que definan o presenten valores de índices de consumo de vapor/ toneladas de atún procesado total, ni en cada etapa del proceso, lo cual resulta indispensable en estudios de optimización, diseño y control de este tipo de procesos industriales, no solo por la disminución del uso de portadores energéticos, sino también por las emisiones de gases contaminantes, lo cual representa hoy un problema que preocupa a la humanidad.

Por tal motivo, el objetivo de presente trabajo es establecer un set de indicadores energético - económicos para el proceso de elaboración de conserva de atún en latas, que contribuya al establecimiento de benchmarking que sirvan de referencia para su evaluación energético-económica con vistas a la mejora continua de los mismos.

Este trabajo se encuentra dentro de un proyecto financiado por el gobierno ecuatoriano mediante su programa de becas de la Secretaria Nacional de Ciencia Tecnología e Innovación (SENESCYT), y fue realizado en una de las más importantes empresas transnacionales procesadora de conservas de atún en latas en la república del Ecuador.

## MÉTODOS

El estudio fue realizado en una de las mayores empresas procesadoras de atún en latas de la República del Ecuador, la cual cuenta con una capacidad de producción de 12000 cajas y exporta sus productos a más de 30 países en Suramérica y Europa. La Figura 1 muestra el mapa de proceso para la elaboración de conservas de atún de dicha empresa, en el cual se diferencia claramente los subsistemas que componen el sistema: generación de vapor y proceso de producción.

La toma de los datos experimentales se realizó en el mes de septiembre del 2015 durante 15 días. Para la determinación de un

that allow the evaluation of the tuna canning process for its continuous improvement, a methodology was applied that consists of three main stages.

In the first stage, the thermal parameters are determined applying the method used by Jiménez *et al.* (2016), the energetic efficiency of the Cleaver Brooks pyrotubular steam generator is evaluated, and the economic operating costs are established, which in their integration allow obtaining the cost of the saturated steam generated by the system using an adaptation of the methodology used by Silveira *et al.* (2012).

set de indicadores energético - económicos con vista al establecimiento de benchmarking que permitan la evaluación del proceso de elaboración de conserva de atún en latas para su mejora continua, se ha aplicado una metodología que consta de tres etapas principales.

En la primera etapa, se determinan los parámetros térmicos aplicando el método utilizado por Jiménez *et al.* (2016), se evalúa la eficiencia energética del generador de vapor pirotubular Marca Cleaver Brooks, y se establecen los costos económicos operativos, lo cual en su integración permiten obtener el costo del vapor saturado generado por el sistema aplicando una adaptación de la metodología utilizada por Silveira *et al.* (2012).

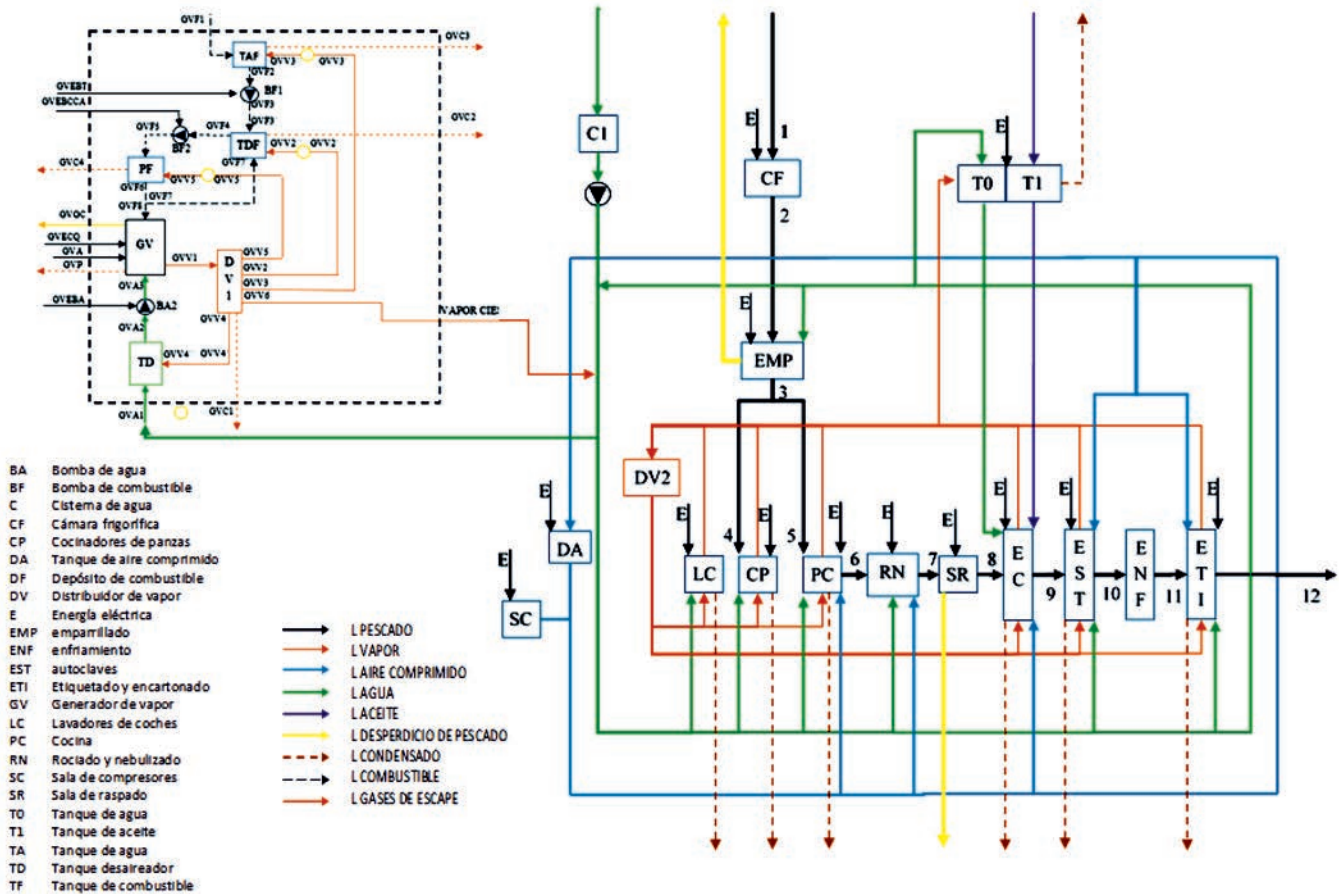


FIGURE 1. Map of Tuna Canning Processes of the Company Object of Study.  
 FIGURA 1. Mapa de procesos de la elaboración de conservas de atún en latas de la empresa objeto de estudio.

**Thermal Parameters of the Steam Generation System**

By means of a mass balance to the water supply tank of the pyrotubular boiler, the quantity of water leaving the tank was determined  $GV_{A2}$ , using equation (1):

$$GV_{A2} = GV_{A1} + GV_{V4} \quad (1)$$

Where:

$GV_{A1}$  = entrance to the water supply tank (kg/h)

$GV_{V4}$  = steam inlet to water supply tank (kg/h)

To determine  $GVA1$  a volumetric multi-flow meter, model GMDX90°C of 2" of diameter was installed at the inlet of the water supply tank of the boiler.

**Parámetros térmicos del sistema de generación de vapor**

Mediante un balance de masa al tanque de alimentación de agua de la caldera pirotubular, se determinó la cantidad de agua que sale del tanque  $GV_{A2}$ , utilizando la ecuación (1):

$$GV_{A2} = GV_{A1} + GV_{V4} \quad (1)$$

donde:

$GV_{A1}$  = entrada al tanque de alimentación de agua (kg/h)

$GV_{V4}$  = entrada de vapor tanque alimentación de agua (kg/h)

Para determinar  $GVA1$  se instaló un medidor de flujo volumétrico de chorro múltiple, modelo GMDX90°C de 2" de diámetro a la entrada del tanque de alimentación de agua de la caldera.



The parameters that define the thermodynamic state of GVV4'' were obtained by means of the calculation of the losses of pressure and heat by convection and radiation in the steam pipe of the water supply tank, applying the fundamental equations of fluid mechanics and heat transfer presented by Levenspiel (2014), and applied to the methodology described by Vega and González (2002). By performing an energy balance to the boiler water supply tank, the amount of condensate formed by the heating of the boiler feed water was determined. It was calculated according to equation (2).

$$hA2 \cdot GV_{A2} = hA1 \cdot GV_{A1} + HV4 \cdot GV_{V4''} \quad (2)$$

The quantity of steam generated in the boiler pyrotubular, was determined according to the equation (3), defining it as the difference between the water that enters to the boiler and the quantity that goes out of it for concept of the purges.

$$GV_{V1} = GV_{A3} - GV_P \quad (3)$$

Where:

$GV_{V1}$  = steam generated by the pyrotubular boiler (kg/h)

$GV_{A2}$  = GVA3= outlet of the water supply tank (kg/h)

$GV_P$  = water from level and bottom purges (kg/h)

To determine the amount of water leaving the boiler (GVP) due to the purging, a metal container was placed at the outlet of the purge tank, which was duly cubed, where the volume extracted per hour of the boiler was measured. On the basis of the measurements realized and applying the procedure proposed by Spirax Sarco (2004), this parameter was calculated according to equation (4).

$$GV_P = Líquido + Re_{vaporizado} \quad (4)$$

Where:

Liquid = Liquid collected in metal tank (kg/h)

$Re_{vaporizado}$  = flash steam of condensate discharge kg/h)

The vapor generated by the system was determined according to equation (5), where the difference between the vapor generated by the pyrotubular boiler and the summation of all consumptions of the components of the steam generation system, is represented.

$$GV_{V6} = GV_{V1} - (GV_{V2''} + GV_{V3''} + GV_{V4''} + GV_{V5''}) \quad (5)$$

Where:

$GV_{V2''}$  = heating steam of daily fuel tank (kg/h)

$GV_{V3''}$  = heating steam of fuel storage tank (kg/h)

$GV_{V4''}$  = heating steam of boiler feed water tank (kg/h)

$GV_{V5''}$  = heating steam of fuel heater (kg/h)

$GV_{V6}$  = steam to canning process (kg/h).

For the determination of the aforementioned components, tanks were constructed and installed for the collection and quantification of condensate, proceeding in a manner analogous to the collection of condensate from the boiler purges.

The fuel flow (GVF1) entering the fuel storage tank (TAF) was obtained by statistical analysis in the Statgraphic software of the fuel information that monthly entered the steam gene-

Los parámetros que definen el estado termodinámico de GVV4'' se obtuvieron mediante el cálculo de las pérdidas de presión y de calor por convección y radiación en la tubería de vapor del tanque de alimentación de agua, aplicando las ecuaciones fundamentales de la mecánica de fluidos y transferencia de calor presentadas por Levenspiel (2014), y aplicadas a la metodología descrita por Vega y Rodríguez (2007). Mediante la realización de un balance de energía al tanque de alimentación de agua de la caldera, se determinó la cantidad de condensado que se formó por el calentamiento del agua de alimentación de la misma, la cual se calculó según la ecuación (2).

$$hA2 \cdot GV_{A2} = hA1 \cdot GV_{A1} + HV4 \cdot GV_{V4''} \quad (2)$$

La cantidad de vapor generado en la caldera piro tubular, se determinó según la ecuación (3), definiéndola como la diferencia entre el agua que entra a la caldera y la cantidad que sale de esta por concepto de las purgas.

$$GV_{V1} = GV_{A3} - GV_P \quad (3)$$

donde:

$GV_{V1}$  = vapor generado por la caldera piro tubular (kg/h);

$GV_{A2}$  = GVA3= salida del tanque de alimentación de agua.

(kg/h);

$GV_P$  = agua de purgas de fondo y nivel. (kg/h).

Para determinar la cantidad de agua que sale de la caldera (GVP) por efecto de las purgas, se colocó a la salida del tanque de purgas un recipiente metálico debidamente cubado, donde se midió el volumen extraído por hora de la caldera. Sobre la base de las mediciones realizadas y aplicando el procedimiento propuesto por Spirax Sarco, Inc. (2011), se calculó dicho parámetro según la ecuación (4).

$$GV_P = Líquido + Re_{vaporizado} \quad (4)$$

donde:

Líquido = líquido recogido en tanque metálico (kg/h);

$Re_{vaporizado}$  = vapor flash del condensado de descarga (kg/h).

El vapor generado por el sistema se determinó según la ecuación (5), donde se representa la diferencia entre el vapor generado por la caldera piro tubular y la sumatoria de todos los consumos de los componentes del sistema de generación de vapor.

$$GV_{V6} = GV_{V1} - (GV_{V2''} + GV_{V3''} + GV_{V4''} + GV_{V5''}) \quad (5)$$

donde:

$GV_{V2''}$  = vapor de calentamiento de combustible de tanque diario (kg/h)

$GV_{V3''}$  = vapor de calentamiento de combustible de tanque de almacenamiento (kg/h)

$GV_{V4''}$  = vapor de calentamiento de tanque de agua de alimentación de caldera (kg/h)

$GV_{V5''}$  = vapor de calentamiento de calentador de combustible (kg/h)

$GV_{V6}$  = Vapor de salida a proceso de elaboración de conservas en latas (kg/h).

Para la determinación de los componentes antes mencionados, se construyeron e instalaron tanques aforados para la recolección y cuantificación del condensado, procediendo de manera análoga a la recolección de condensado de las purgas de la caldera.

El flujo de combustible (GVF1) que ingresa al tanque de almacenamiento de combustible (TAF), se obtuvo mediante

ration system during the year 2015. The fuel consumed by the boiler (GVF8) is calculated by equation 6.

$$F_{comb} = \frac{Q_{\text{útil}}}{\eta * q_{\text{disponible}}} \quad (6)$$

Where:

$F_{comb}$  = fuel flow to the boiler (kJ/h)

$Q_{\text{useful}}$  = heat absorbed by the water in the boiler (kJ/h)

$Q_{\text{available}}$  = heat of fuel (kJ/kg<sub>comb.</sub>)

The fuel flow that drives the boiler feed pump (GVF5) was determined by the manufacturer's technical specifications.

The measurements of the chemical composition of the exhaust gases of the pyrotubular boiler were determined by the Testo brand, model 350 series 02555648 exhaust gas measurement equipment owned by ELICROM Company.

In order to obtain the elemental chemical composition of fuel oil No. 6, distributed by Petrocomercial for the entire Ecuadorian industrial sector, and which is the analyzed company supplier, a sample was sent to the company "SertinLab". It is a company that performs analysis of fuels and lubricants, accredited by Ecuadorian State.

### Evaluation of Energetic Efficiency of Pyrotubular Steam Generator, Brand Cleaver Brooks

Once measurements of all operation parameters of the steam generation system have been made, its energy efficiency is determined, by indirect and direct methods, by applying equations (7) and (8) as expressed by Jiménez et al. (2016).

$$\eta = 100 - \Sigma (q_2 + q_3 + q_4 + q_5) \quad (7)$$

Where:

$q_2$  = exhaust gas loss (%)

$q_3$  = loss due to incomplete chemical combustion (%)

$q_4$  = loss due to incomplete mechanical combustion (%)

$q_5$  = loss of heat transfer through walls (%)

$$\eta = \frac{Q_{\text{útil}}}{F_{comb} * q_{\text{disponible}}} \quad (8)$$

Where:

$F_{comb}$  = fuel flow to the boiler (KJ/h)

$Q_{\text{útil}}$  = heat absorbed by the water in the boiler (KJ/h)

$Q_{\text{disponible}}$  = fuel heat (kJ/kg<sub>comb.</sub>)

Saturated Steam Cost Generated by the System

The cost of the ton of steam generated by the industry's steam generation system was obtained according to equation (9) proposed by Silveira et al. (2012).

$$P_V = \left( \frac{h_{V1} - h_{A3}}{PCI * \eta} * CC \right) + PQ + PEE + PA + PO \quad (9)$$

Where:

$P_V$  = cost of steam (\$/kg of steam)

$h_{V1}$  = saturated steam enthalpy at the outlet of the boiler (kJ/kg)

$h_{A3}$  = water enthalpy at the inlet of the boiler (kJ/kg)

un análisis estadístico en el software Statgraphic, de la información del combustible que mensualmente ingresó al sistema de generación de vapor durante el año 2015. El combustible consumido por la caldera (GVF8) se calcula por la ecuación 6.

$$F_{comb} = \frac{Q_{\text{útil}}}{\eta * q_{\text{disponible}}} \quad (6)$$

donde:

$F_{comb}$  = flujo de combustible a la caldera (kJ/h);

$Q_{\text{útil}}$  = calor absorbido por el agua en la caldera (kJ/h);

$Q_{\text{disponible}}$  = calor del combustible (kJ/kg<sub>comb.</sub>).

El flujo de combustible que maneja la bomba de alimentación de la caldera (GVF5), se determinó mediante las especificaciones técnicas del fabricante.

Las mediciones de la composición química de los gases de escape de la caldera pirotubular, se determinaron mediante el equipo de medición de gases de escape, Marca Testo, modelo 350 serie 02555648 de propiedad de la empresa ELICROM.

Para la obtención de la composición química elemental del combustible fueloil No. 6, que distribuye petrocomercial para todo el sector industrial ecuatoriano, y del cual se abastece la empresa analizada, se envió una muestra a la empresa "SertinLab", la cual es una compañía que realiza análisis de combustibles y lubricantes, acreditada por el Estado Ecuatoriano.

### Evaluación de la eficiencia energética del generador de vapor pirotubular Marca Cleaver Brooks

Una vez realizados las mediciones de todos los parámetros de operación del sistema de generación de vapor, se procede a determinar su eficiencia energética, tanto por el método indirecto y directo, mediante la aplicación de las ecuaciones (7) y (8) según lo expresado por Jiménez et al. (2016).

$$\eta = 100 - \Sigma (q_2 + q_3 + q_4 + q_5) \quad (7)$$

donde:

$q_2$  = pérdida por gases de escape (%);

$q_3$  = pérdida por combustión química incompleta (%);

$q_4$  = pérdida por combustión mecánica incompleta (%);

$q_5$  = pérdida por transferencia de calor a través de las paredes (%).

$$\eta = \frac{Q_{\text{útil}}}{F_{comb} * q_{\text{disponible}}} \quad (8)$$

donde:

$F_{comb}$  = flujo de combustible a la caldera (kJ/h);

$Q_{\text{útil}}$  = calor absorbido por el agua en la caldera (kJ/h);

$Q_{\text{disponible}}$  = calor del combustible (kJ/kg<sub>comb.</sub>).

Costo del vapor saturado generado por el sistema

El costo de la tonelada de vapor generada por el sistema de generación de vapor de la industria se obtuvo según la ecuación (9) propuesta por Silveira et al. (2012).

$$P_V = \left( \frac{h_{V1} - h_{A3}}{PCI * \eta} * CC \right) + PQ + PEE + PA + PO \quad (9)$$

donde:

$P_V$  = costo del vapor (\$/kg de vapor);

PCI = lower heating value of fuel #6 (kJ/kg)  
 CC = fuel price (0,252 \$/kg of fuel)  
 PQ = chemicals cost (0,00097 \$/kg of steam)  
 PA= cost of water consumption (0,0022 \$/kg of steam)  
 PEE = cost of electric power consumption (0,0000337 \$/kg of steam)  
 PO = cost of operation and maintenance (0,00174 \$/kg of steam)

In the second stage, the key processes of tuna canning, in accordance with the technological requirements of the company object of study, are established using the process map of tuna processing proposed by Avadí *et al.* (2015), as well as the daily consumption of raw material and steam per stage of the process. That latest parameter was obtained by applying the procedure proposed by Spirax Sarco (2004), used in the first stage, and calculates the cost of the steam per day for each of the stages of the process according to equation (10).

$$\text{Cost of steam} = P_v \cdot \text{steam consumption} \quad (10)$$

Finally, in the third stage, the indicators for the energetic-economic evaluation of the process of tuna canning are established, adapting the proposal of key performance indicators for the performance improvement of an industry proposed by Lindberg *et al.* (2015).

## RESULTS AND DISCUSSION

### First Stage Results

The values of thermal parameters of the steam generation system, determined from measurements made in situ and calculated by applying the equations proposed in the methods, are shown in Table 1.

$h_{v1}$  = entalpia de vapor saturado a la salida de la caldera (kJ/kg);  
 $h_{A3}$  = entalpia de agua que ingresa a la caldera (kJ/kg);  
 PCI = poder calorífico inferior de fuel #6 (kJ/kg);  
 CC = precio del combustible (0,252 \$/kg de combustible);  
 PQ = costo de productos químicos (0,00097 \$/kg de vapor);  
 PA= costo del consumo de agua (0,0022 \$/kg de vapor);  
 PEE = costo del consumo de Energía Eléctrica (0,0000337 \$/kg de vapor);  
 PO = costo de operación y mantenimiento (0,00174 \$/kg de vapor).

En la segunda etapa, se establecen los procesos claves de la elaboración de conservas de atún en latas en correspondencia con los requerimientos tecnológicos de la empresa objeto de estudio, utilizando el mapa de procesos del procesamiento del atún propuesto por Avadí *et al.* (2015), así como se determina el consumo diario de materia prima y de vapor por etapa del proceso, parámetro este último que se obtuvo aplicando el procedimiento propuesto por Spirax Sarco, Inc. (2011), utilizado en la primera etapa, y se calcula el costo del vapor por día para cada una de las etapas del proceso según la ecuación (10).

$$\text{Costo del vapor} = P_v \cdot \text{Consumo de vapor} \quad (10)$$

Finalmente, en la tercera etapa, se establecen los indicadores para la evaluación energético- económica del proceso de elaboración de conservas de atún en latas adaptando la propuesta de indicadores claves de desempeño para la mejora de rendimiento de una industria propuesta por Lindberg *et al.* (2015).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Resultados de la primera etapa

Los valores de los parámetros térmicos del sistema de generación de vapor, determinados a partir de las mediciones realizadas in situ y calculados aplicando las ecuaciones planteadas en los métodos, se muestran en la Tabla 1.

TABLE 1. Thermodynamic Parameters of the Steam Generation System  
 TABLA 1. Parámetros termodinámicos del sistema de generación de vapor

Nomenclature	Material	kg/h	bar	°C
GVA1	WATER	3895,560	1,013	40,000
GVA2	WATER	3978,000	1,013	52,700
GVA3	WATER	3978,000	10,448	53,000
GVV1	STEAM	3499,000	8,724	174,000
GVV2	STEAM	17,010	8,724	174,000
GVV2'	STEAM	17,010	8,668	174,000
GVV2''	STEAM	17,010	3,013	142,700
GVV3	STEAM	42,912	8,724	174,000
GVV3'	STEAM	42,912	7,824	169,500
GVV3''	STEAM	42,912	3,013	133,700
GVV4	STEAM	82,512	8,724	174,000
GVV4'	STEAM	82,512	8,636	173,600
GVV4''	STEAM	82,512	2,513	132,300
GVV5	STEAM	19,537	8,724	174,000
GVV5'	STEAM	19,537	8,705	173,940

GVV5	STEAM	19,537	2,013	144,700
GVV6	STEAM	3320,280	8,724	174,000
GVP	WATER	478,080	8,724	174,000
GVC1	WATER	17,640	8,724	174,000
GVF1	FUEL	262,800	1,013	40,050
GVF2	FUEL	262,800	1,013	54,800
GVF3	FUEL	262,800	10,710	55,000
GVF4	FUEL	605,880	1,013	52,800
GVF5	FUEL	605,880	6,410	53,000
GVF6	FUEL	605,880	4,370	88,000
GVF7	FUEL	343,080	4,370	88,000
GVF8	FUEL	262,800	4,370	88,000

According to Jiménez *et al.* (2016), the energetic efficiency of the pyrotubular steam generator was evaluated, resulting in 84.91% by the indirect method and 83.82% by the direct method, which corresponds to the values predetermined by Nieuwlaar *et al.* (2015). Finally, the cost of the ton of steam generated by the company's system under study, based on its operation and maintenance input costs, was 23.7 \$/t of steam.

### Second Stage Results

The parameters values of daily consumption of raw material and steam, as well as the cost of steam per day for each stage of the tuna canned elaboration process, were determined on the basis of measurements made in situ and the application of the equations in the methods, (Table 2).

De acuerdo a lo expresado por Jiménez *et al.* (2016), se evaluó la eficiencia energética del generador de vapor pirotubular, resultando esta de un 84,91% por el método indirecto y un 83,82% por el directo, lo cual se corresponde con los valores predeterminados por Nieuwlaar *et al.* (2016). Finalmente, el costo de la tonelada de vapor generada por el sistema de la empresa en estudio, en función de sus costos de insumos de operación y mantenimiento fue de 23,7 USD/t de vapor.

### Resultados de la segunda etapa

Los valores de los parámetros de consumo diario de materia prima y de vapor, así como el costo del vapor por día para cada etapa del proceso de elaboración del atún, se determinaron a partir de las mediciones realizadas in situ y la aplicación de las ecuaciones planteadas en los métodos, (Tabla 2).

**Table 2. Consumption and Cost of Steam and Raw Material per Day for Each Key Process**  
**TABLA 2. Consumo y costo de vapor y materia prima por día para cada proceso clave**

Processes	Steam Consumption (t of steam/day)	Raw Material (t RM/day)	Steam Cost (\$/day)
Condensed	5,998	134,122	142,213
Steam Generation	5,438	134,122	128,935
Cooking	27,859	134,122	660,537
Sterilization	33,165	52,200	786,342
Cleaning of Containers	1,600	52,200	37,936
Preheated	1,671	52,200	39,619
Dosage	2,119	52,200	50,241
Can Sealing	2,400	52,200	56,904
Packing wash	1,984	52,200	47,041
Packed	1,144	52,200	27,124
Rest of Areas	0,592	134,122	14,036
TOTAL	83,970		1990,929



The results presented above allow inferring that daily yield of the tuna elaboration process in the company under study is 39%, which is considered acceptable, nevertheless, they must work to increase it since, according to Zagarramurdi *et al.* (1999), it should be in the range of 38-40% and Taboada *et al.* (2016) places it at 41%. In addition, the results show that 72.67% of the steam consumption is concentrated in the cooking and sterilization processes, reaffirming what is presented by Avadí *et al.* (2015), where these processes are considered as steam consumers in the elaboration of canned tuna.

### Third stage results

The proposal of key performance indicators for performance improvement of an industry by Lindberg *et al.* (2015) is adapted, establishing two fundamental indicators for the energetic - economic evaluation of each stage of the tuna canning process: specific consumption (*Conev*) and specific cost of steam (*Cosev*), which are calculated applying equations (11) and (12). The results obtained in the company under study are shown in Table 3.

$$Conev = \frac{\text{consumo de vapor}}{\text{materia prima}} \quad (11)$$

$$Cosev = \frac{\text{Costo del vapor}}{\text{materia prima}} \quad (12)$$

Los resultados antes presentados permiten inferir que el rendimiento diario del proceso de elaboración del atún en la empresa objeto de estudio es del 39%, el cual se considera aceptable, no obstante, se debe trabajar para incrementarlo ya que según lo expresado por Zagarramurdi *et al.* (1999), el mismo debe estar en un rango entre 38 - 40% y Taboada *et al.* (2016), lo ubica en un 41%. Además, los resultados evidencian que el 72,67% del consumo de vapor se concentra en los procesos de cocinado y esterilizado, reaffirmando lo expuesto en el mapa de proceso de Avadí *et al.* (2015), donde considera dichos procesos como consumidores de vapor en la elaboración de conserva de atún en latas.

### Resultados de la tercera etapa

Se adapta la propuesta de indicadores claves de desempeño para la mejora de rendimiento de una industria de Lindberg *et al.* (2015), estableciendo dos indicadores fundamentales para la evaluación energético - económica de cada etapa del proceso de elaboración de conservas de atún en latas: consumo específico (*Conev*) y costo específico de vapor (*Cosev*), los cuales se calculan aplicado las ecuaciones (11) y (12). Los resultados alcanzado en la empresa objeto de estudio constan en la Tabla 3.

$$Conev = \frac{\text{consumo de vapor}}{\text{materia prima}} \quad (11)$$

$$Cosev = \frac{\text{Costo del vapor}}{\text{materia prima}} \quad (12)$$

Table 3. Energetic-Economic Indicators per Stages of the Process  
 TABLA 3. Indicadores energético - económica por etapas del proceso

Equipment /Installation	Specific Consumption of Steam (t of steam/t of mat)	Specific Cost of Steam (\$/t of mat)
Condensed	0.045	1.060
Steam Generation	0.041m	0.961
Cooking	0.208	4.925
Sterilization	0.635	15.064
Cleaning of Containers	0.031	0.727
Preheated	0.032	0.759
Dosage	0,041	0,962
Can Sealing	0.046	1.090
Packing wash	0.038	0.901
Packed	0.022	0.520
Rest of Areas	0.004	0.105
TOTAL	1.142	27.074

### CONCLUSIONS

- The indicators for energetic-economic evaluation of each stage of tuna canning process in order to establish benchmar-

### CONCLUSIONES

- Los indicadores para la evaluación energético-económica de cada etapa del proceso de elaboración de conserva de atún

- king, that serve as a reference for continuous improvement, were specific consumption and specific cost of steam.
  - The relevance of the indicators proposed was corroborated with their implementation in the company under study.
- en latas, con vistas al establecimiento de benchmarking que sirvan de referencia para su mejora continua fueron consumo específico y costo específico de vapor.
  - La pertinencia de los indicadores propuestos quedó corroborada con su implementación en la empresa objeto de estudio.

## REFERENCES / REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- AVADÍ, A.; BOLAÑOS, C.; SANDOVAL, I.; YCAZA, C.: "Life cycle assessment of Ecuadorian processed tuna", *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 20(10): 1415-1428, octubre de 2015, ISSN: 0948-3349, 1614-7502, DOI: 10.1007/s11367-015-0943-2.
- AVADÍ, A.; FRÉON, P.: "Life cycle assessment of fisheries: A review for fisheries scientists and managers", *Fisheries Research*, 143: 21-38, junio de 2013, ISSN: 0165-7836, DOI: 10.1016/j.fishres.2013.01.006.
- DE LAS CUEVAS, M.H.R.; DÍAZ, Á.M.; PANEQUE, R.P.: "Software para el cálculo de indicadores energéticos, de explotación y económicos del sistema de distribución de humus de lombriz", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 19(2): 65-70, junio de 2010, ISSN: 2071-0054.
- FAO: *State of world fisheries and aquaculture 2016 (spanish)*, [en línea], Ed. FAO, Rome, Italy, 213 p., 2016, ISBN: 978-92-5-309185-0, Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-i5555s.pdf>, [Consulta: 1 de septiembre de 2016].
- GARCÍA DE LA FIGAL, C.A.E.; VALDÉS, L.Y.; VARGAS, H.J.: "Evaluación de los gastos de explotación, económicos y energéticos en la labor de cultivo del frijol, tomate y papa comparando el tractor YUMZ-6M con yunta de bueyes", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 21(3): 62-68, septiembre de 2012, ISSN: 2071-0054.
- JIMÉNEZ, R.; MADRIGAL, J.A.; LAPIDO, M.J.; VIDAL, D.A.: "Método para la evaluación de la eficiencia e impacto ambiental de un generador de vapor", *Ingeniería Energética*, 37(2): 135-143, agosto de 2016, ISSN: 1815-5901.
- LEVENSPIEL, O.: *Engineering Flow and Heat Exchange*, [en línea], Ed. Springer, 3.<sup>a</sup> ed., 397 p., Google-Books-ID: f\_CbBQAAQBAJ, 26 de noviembre de 2014, ISBN: 978-1-4899-7454-9, Disponible en: [https://books.google.es/books?id=f\\_CbBQAAQBAJ](https://books.google.es/books?id=f_CbBQAAQBAJ), [Consulta: 1 de septiembre de 2016].
- LINDBERG, C.-F.; TAN, S.; YAN, J.; STARFELT, F.: "Key Performance Indicators Improve Industrial Performance", *Energy Procedia*, 75: 1785-1790, agosto de 2015, ISSN: 1876-6102, DOI: 10.1016/j.egypro.2015.07.474.
- NIEUWLAAR, E.; ROES, A.L.; PATEL, M.K.: "Final Energy Requirements of Steam for Use in Environmental Life Cycle Assessment", *Journal of Industrial Ecology*, 20(4): 828-836, 1 de agosto de 2016, ISSN: 1530-9290, DOI: 10.1111/jiec.12300.
- PACHECO, B.J.L.: *Aspectos Biológicos y Pesqueros de las Capturas de Atún Registrada por la Flota Atunera Cerquera Ecuatoriana Período 2000-2013*, [en línea], Ed. Instituto Nacional de Pesca, Guayaquil, Ecuador, 13 p., 2013, Disponible en: <http://www.institutopesca.gob.ec/wp-content/uploads/2014/08/1-Aspectos-Biol%C3%B3gicos-y-Pesqueros-de-las-Capturas-de-At%C3%BAn-Registradas-por-La-Flota-Atunera-Cerquera-2000-2013.pdf>, [Consulta: 29 de mayo de 2017].
- PEREIRA, C.A.; PÉREZ, A.; MARÍN, D.; GONZÁLEZ, O.: "ExploMq, software para la evaluación energética y económica de la maquinaria agrícola", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 24(1): 72-76, marzo de 2015, ISSN: 2071-0054.
- SILVEIRA, J.L.; LAMAS, W. de Q.; TUNA, C.E.; VILLELA, I.A. de C.; MIRO, L.S.: "Ecological efficiency and thermoeconomic analysis of a cogeneration system at a hospital", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(5): 2894-2906, junio de 2012, ISSN: 1364-0321, DOI: 10.1016/j.rser.2012.02.007.
- SPIRAX SARCO, INC.: *Design of Fluid Systems. Steam utilization*, [en línea], Ed. Spirax Sarco, Inc., Maryland, USA, 66 p., 2011, Disponible en: [http://www.spiraxsarco.com/global/us/Training/Documents/Design\\_of\\_Fluid\\_Systems\\_Steam\\_Utilization.pdf](http://www.spiraxsarco.com/global/us/Training/Documents/Design_of_Fluid_Systems_Steam_Utilization.pdf), [Consulta: 30 de mayo de 2017].
- TABOADA, M.C.; MAGÁN, A.; TORRES, R.; BELLO, P.M.: "Towards sustainable systems configurations: application to an existing fish and seafood canning industry", *Journal of Cleaner Production*, 129: 374-383, 15 de agosto de 2016, ISSN: 0959-6526, DOI: 10.1016/j.jclepro.2016.04.047.
- VEGA, P.L.E.; RODRÍGUEZ, G.L.E.: "Perdidas de presión en tuberías de vapor", *Ciencias Holguín*, 13(3): 1-10, 2007, ISSN: 1027-2127.
- ZUGARRAMURDI, A.; PARÍN, M.A.; LUPIN, H.M.: *Ingeniería económica aplicada a la industria pesquera*, [en línea], ser. Documento Técnico de Pesca, no. ser. 351, Ed. FAO, Roma, Italia, 268 p., Google-Books-ID: Q\_eoohQZ9PIC, 1999, ISBN: 978-92-5-303738-4, Disponible en: [https://books.google.es/books?id=Q\\_eoohQZ9PIC](https://books.google.es/books?id=Q_eoohQZ9PIC), [Consulta: 30 de mayo de 2017].

Received: 30/01/2017.

Approved: 15/06/2017.

Ángel Rafael Arteaga-Linza, Profesor Principal tiempo completo, Universidad Técnica de Manabí, Ecuador,

E-mail: [aarteaga@utm.edu.ec](mailto:aarteaga@utm.edu.ec)

María Isabel Fernández Parra, E-mail: [aarteaga@utm.edu.ec](mailto:aarteaga@utm.edu.ec)

Ángel Luis Brito Sauvanell, E-mail: [aarteaga@utm.edu.ec](mailto:aarteaga@utm.edu.ec)

Note: the mention of commercial equipment marks, instruments or specific materials obeys identification purposes, there is not any promotional commitment related to them, neither for the authors nor for the editor.



# **Centro de Mecanización Agropecuaria**

## **MISIÓN**

---

Promover el desarrollo de la Ingeniería Agrícola y la formación de cuadros Científico Técnicos de alto nivel en este campo.

Ubicado en la carretera de Tapaste, en San José de las Lajas, en las áreas de la Universidad Agraria de La Habana, el CEMA se distingue:

### **LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN**

- Ingeniería Agrícola para sistemas conservacionistas
  - Mecanización de Cultivos Tropicales
  - Energía en la Agricultura
- Sensoramiento en Agricultura de Precisión

### **DEFENSAS DE DOCTORADOS**

- Sede del Tribunal Nacional de Defensa de Doctorado en Ingeniería Agrícola • Sede del Programa Doctoral en Mecanización Agrícola

### **SUPERACIÓN POSTGRADUADA**

- Diplomados • Maestrías • Doctorados • Cursos y Entrenamientos de Postgrado • Cursos de Verano
- Cursos de Superación para profesionales

### **● TALLER DE PROTOTIPOS**

### **● MÁQUINAS Y EQUIPOS PARA LA PRODUCCIÓN Y TRANSPLANTES DE CEPELLONES**

### **● BÁSCULAS ELECTRÓNICAS PARA LA GANADERÍA**

### **● EQUIPO PORTÁTIL PARA DEPURAR ACEITES**



# ecoalfiz<sup>2017</sup>

## VII ENCUENTRO ECOSISTEMAS ARROCEROS

Unidad Científico Tecnológica de Base Los Palacios  
Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas  
los días 23 y 24 de noviembre de 2017



**Presidentes de Honor:**

Cmdte Julio Camacho Aguilera.

Dra. C. María del C. Pérez Hernández.

**Presidente:**

Dr. C. Alexander Miranda Caballero.

**Vicepresidente:**

MSc. Yoel Ribet Molleda.

**Secretaría Científica:**

MSc. Aida T. Rodríguez Pedroso.

*Organizado por Conferencias Magistrales, Talleres y Mesas Redondas en las temáticas de:*

- ✓ *Mejoramiento vegetal y protección de plantas.*
- ✓ *Fisiología y manejo del agua.*
- ✓ *Suelo, nutrición y alternativas nutricionales.*
- ✓ *Problemática actual de la producción arrocera nacional.*
- ✓ *Manejo y conservación de los humedales antrópicos.*
- ✓ *Industria, mercado, capacitación y nuevas tecnologías.*

Para cualquier información contactar con:

Dr. C. Alexander Miranda Caballero [alex@inca.edu.cu](mailto:alex@inca.edu.cu)

MSc. Aida Tania Rodríguez Pedroso [atania@inca.edu.cu](mailto:atania@inca.edu.cu)

Carretera La Francia, km 1½, Los Palacios, Pinar del Río, Cuba.

Teléfonos: (53) 48547230 y (53) 48547120.

Auspician:



Basal  
DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO  
CIENTÍFICO AGRÍCOLO

